



SAYI/ISSUE 25
AĞUSTOS/AUGUST 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

- Polimer Değişim Membranlı Yakıt Hücresi Uç Plakası Malzemelerinin Arcan Numunesi Kullanılarak Sonlu Eleman Yöntemi ile Çalışılması*
Adem AVCU
Sayfa: 1 - 5
- Gerçek Zamanlı Gömülü Sistemlerin Durum Diyagramları ile Modellenmesi*
Sonay DUMAN, Abdullah ELEWİ, Fırat DUMAN
Sayfa: 6 - 11
- Hava Körüklerinin Statik ve Dinamik Sönümlene Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi*
Hasan KASIM, Erol ÖZKAN, Murat YAZICI
Sayfa: 12 - 22
- Akıllı Telefonda Derin Öğrenme ile Deprem Erken Uyarı Sistemi Tasarımı*
Baran CANPOLAT, Gonca OKAY AHİ
Sayfa: 23 - 27
- Metamalzeme Tabanlı İki Bantlı Mükemmel Soğurucu*
Rafettin AYTEKİN, Habibe DURMAZ
Sayfa: 28 - 33
- Dijital Ortamda Sanal Para ile Gerçekleştirilen E-Spor Faaliyetlerinin TMS/TFRS Kapsamında Muhasebeleştirilmesine İlişkin Bir Yaklaşım*
Feden KOÇ
Sayfa: 34 - 42
- Çimento Fabrikasında Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi*
Özgür KALELİOĞLU, Ercan KÖSE
Sayfa: 43 - 49
- Tornalamada Akustik Emisyon ve Motor Akımı Optimizasyonu ve Analizi*
Abdullah ASLAN
Sayfa: 50 - 57
- Yerli Elektrikli Aracın Elektrik Sarfiyatını Güneş ve Rüzgâr Enerjisi ile Karşılama Potansiyeli*
Hüseyin GÜRBÜZ
Sayfa: 58 - 69
- Jeopolimer harcın mukavemet özellikleri üzerine deneysel çalışma*
Dia Eddin NASSANİ
Sayfa: 70 - 74
- Mevzuatta Tanımlanmayan Donatı Gereksinimi 'Anne-Çocuk Evi'*
Leyla SURI
Sayfa: 75 - 86
- Tabaka İle Örtülü Yarı Düzlemdeki Yüzey Dalgalarına Tabaka Kalınlığı ve Ön Gerilmelerin Etkisinin Tam Temas Koşulları Altında İncelenmesi*
Müslüm ÖZİŞİK
Sayfa: 87 - 93
- İç Mekân Kurgusunda Mobilya ve Mekân Kompozisyonu İlişkisi*
Yaprak ÖZEL
Sayfa: 94 - 104
- Ulusal Enerji Politikaları ve Ulaştırma Kararları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*
Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Namık AK
Sayfa: 105 - 111
- Algılayıcı Türlerinin Güneş Takip Sisteminde Etkinliğinin Araştırılması*
Ahmet YÖNETKEN, Tuğba GÜRİSOY
Sayfa: 112 - 119
- Veri Madenciliği ile Türkiye'deki ve Avrupa Birliği Ülkelerindeki Bilgisayar Mühendisliği Programlarının Karşılaştırılması*
Seda KILIÇER, Rüya ŞAMLI
Sayfa: 120 - 130

Havacılık ve Meteoroloji

Fahrettin ÖZTÜRK, Hüseyin FAZLA, Rukiye Aybüke AKBAY, Temel KOTİL

Sayfa: 131 - 138

Gebze (Kocaeli / Türkiye) Bölgesinde Havada Maruz Kalınan Gama Dozları ve Kanseri Riskinin Değerlendirilmesi

Muttalip Ergun TURGAY, Zeynep ACARA, Zeki Ünal YÜMÜN, Arev ARTUN, Erol KAM

Sayfa: 139 - 144

Akçaağaç Şurubu Hastalığının Beslenme Tedavisinde Güncel Yaklaşımlar

Elif MADEN, Sümeyye UÇAK

Sayfa: 145 - 151

İki Farklı Yörede Doğal Yayılış Gösteren Yayla Çiçeği (*Helichrysum arenarium* subsp. *aucherii*)'nin Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi

Ebru Hatice TİÇLİ KAYTANLIOĞLU, Sevgin ÖZDERİN, Hüseyin FAKİR, Emre GÜMÜŞAY

Sayfa: 152 - 158

Derin Öğrenme Teknikleri İle Nesne Tespiti Ve Takibi Üzerine Bir İnceleme

Fatma Gülşah TAN, Asım Sinan YÜKSEL, Erdal AYDEMİR, Mevlüt ERSOY

Sayfa: 159 - 171

Tarihi Yapılarda Yeniden İşlevlendirme Süreçlerine Sistemik Bir Yaklaşım; Atik Valide Külliyesi Örneği

İzzettin KUTLU, Ruşen ERGÜN

Sayfa: 172 - 184

Bazı Vitaminlerin Bağışıklık Sistemi ve Covid-19 Tedavisindeki Etkisi

Ezgi ARSLAN

Sayfa: 185 - 191

Alternatif Yakıt Biyogaz Potansiyelinin Model Bir İlçe için Araştırılması

Oguz SARIBIYIK

Sayfa: 192 - 197

Evsel Kojenerasyon Sistemleri

Gamze KARANFİL, Batuhan GÖÇEN, Ferdi İNANÇ, Halil Can KARAYEL, Ümit ÜNVER

Sayfa: 198 - 206

Bodrum Yarımadası Kent Taşkınlarının Nedenleri ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Çalışma

Cengiz KOÇ

Sayfa: 207 - 216

Alternatif Bir Bitki: Selluka (*Vigna caracalla* L. Verdc.)

Betül KUŞ, Hakan GEREN

Sayfa: 217 - 221

Plajiyoklazların Dokusal Stratigrafisi ile Magma Odası Süreçlerinin Yorumlanması (Konya-Orta Anadolu)

Gülin GENÇOĞLU KORKMAZ, Huseyin KURT

Sayfa: 222 - 237

Türkiye Elektrik Piyasalarında Yenilenebilir Enerjinin Gelişimi

Cem ŞAHİN

Sayfa: 238 - 246

Giriş Kısıtlı Ters Sarkaç Mekanizmasının Optimal Kontrolü

Sait SOVUKLUK, Mert ANKARALI

Sayfa: 247 - 255

Modifiye Juglans Regia L. Yaprağı Kullanarak Sulu Çözümlerden Reaktif Red 120'nin Biyosorpsiyonu

Ferda ÖZMAL, Gönül DUMAN

Sayfa: 256 - 266

PS/PVA Kompozitlerinin Film Oluşumuna Hacim Kesri Etkisinin Işık Geçirgenliği ile İzlenmesi

Sibel EKEN KORKUT

Sayfa: 267 - 271

- Petrol ve Doğal Gaz Boru Hatları Hot-Tap Uygulamasında İş Güvenliği Esasları ve Risk Yönetimi*
Ali ETTEHADİ, Ayşegül ACAR, Enes GÜRBÜZ
Sayfa: 272 - 281
- Pandemi Sürecinde Uzaktan Eğitim İle Yürütülen Teknik Resim Dersine Dair Bir Değerlendirme: Çukurova Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü Örneği*
Kemal SAKARYA
Sayfa: 282 - 290
- Zilan Vadisi'nde Toplanan (Van-Erciş) Yenen Yabani Mantar (Chlorophyllum agaricoides, Mycenastrum corium ve Paxina queletii) Örneklerindeki Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi*
Ahmet Metin KUMLAY, Mehmet Zeki KOÇAK, Erhan ÖZTÜRK
Sayfa: 291 - 294
- Kentsel Stres Kavramı ve Kentsel Stresi Azaltmak*
Tolga KAYACAN, Ece ÖZMEN
Sayfa: 295 - 305
- 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Yapısal Analizler Işığında Karşılaştırılması*
Kübra ADAR, Aydın BÜYÜKSARAÇ, Ercan IŞIK, Ali Emre ULU
Sayfa: 306 - 317
- Nar Kabuklarının Döner Tambur Kompostlama Sisteminde Biyoaktivatör İle Kompostlanması*
Kamil EKİNCİ, Cenk SOYÖZ, Barbaros KUMBUL, Rifat YILDIRIM, Şerafettin YAZICI, Hilal RÜZGAR
Sayfa: 318 - 324
- İğdir ili 080 Devlet Karayolu Boyunca Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliği*
Cemal KÜÇÜK, Mücahit KARAOĞLU
Sayfa: 325 - 333
- Gün İçi Piyasası Elektrik Fiyat Tahmini için Eksik Verilerin Tamamlanması*
Salih GÜNDÜZ, Umut UÇURLU, İlkay ÖKSÜZ
Sayfa: 334 - 340
- Optimallik Koşulları Kullanılarak Isı Transferi İşleminin Yayılım Kontrolü*
Seda GÖKTEPE
Sayfa: 341 - 346
- Farklı Dolgu Malzemeleri ile Sabitlenen Zivanaların Yığma Taş Blokların Kayma Dayanımına Etkisi*
Şükran TANRIVERDİ, Tülin ÇELİK
Sayfa: 347 - 354
- Endüstriyel Tip Makinalarda Verimliliği Artırmak İçin Optimizasyon*
Fulya ASLAN, Yaşar Nuri SEVGEN, Yavuz ATEŞ, Osman YILDIRIM
Sayfa: 355 - 362
- 20 Katlı Betonarme Yapının Farklı Perde Duvar Yerleşimlerine Göre Deprem Analizi*
Özge ONAT, Pınar USTA
Sayfa: 363 - 369
- Gerilim Sensörü Uygulamaları İçin Çok Duvarlı Karbon Nanotip Dolgulu Elastomer Nanokompozitlerin Piezodirenç Özelliklerinin Araştırılması*
Hasan KASIM
Sayfa: 370 - 379
- Havacılık Nöroergonomisinde Optik Beyin Görüntüleme Uygulamaları*
Murat ÇAKIR
Sayfa: 380 - 391
- Kesir Dereceli Sprott-K Kaotik Sisteminin Dinamik Analizi ve FPGA Uygulaması*
Kenan ALTUN
Sayfa: 392 - 399
- Plaka Tip Isı Değiştiricide Grafit/Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi*
Muhammet KAHVECİ, Tarkan KOCA
Sayfa: 400 - 405

- Uzaktan Eğitimde Kullanılan Bulanık Mantık Tabanlı Öğrenme Modelleri, Platformlar, Ölçme ve Değerlendirme Yöntemleri
Beyza ESİN ÖZSEVEN, Naim CAGMAN
Sayfa: 406 - 416
- Üretim Süreçlerinde Ergonomik Riskler ve Risk Değerlendirme Yöntemleri: Cıvata Fabrikasında Bir Uygulama
Sami SEVER, Mustafa DESTE
Sayfa: 417 - 441
- Yapı Sistemlerinde Patlama Etkilerinin ve Patlama Güvenliğinin Araştırılması
Elif TOPLU, Osman KIRTEL
Sayfa: 442 - 450
- Motor Ünite Sayısı Kestirimi (MÜSK) ve Birleşik Kas Aksiyon Potansiyeli (BKAP) Taraması Uyarıyanıt (UY) Eğrisinin Ortalama Eğimi arasındaki İlişkinin Araştırılması
İmran GÖKER
Sayfa: 451 - 456
- Bilecik'te İklim Değişikliği Bilincinin Yerel Düzeyde Analizi
Burçin ATILGAN TÜRKMEN
Sayfa: 457 - 462
- Optimize Edilmiş Makine Öğrenimi Algoritmaları Kullanarak İnternet Ağı Saldırı Tespiti
Nurdan AKHAN BAYKAN, Tahira KHORRAM
Sayfa: 463 - 474
- Yakın Kızılötesi Spektroskopisinde Kullanılan Veri Analizi Tekniklerinin Bir Derlemesi
Özcan ÇATALTAŞ, Kemal TUTUNCU
Sayfa: 475 - 484
- Tüketicilerin Omega-3 Yağ Asitleri ile Zenginleştirilmiş Fonksiyonel Gıdalara Yönelik Tutum ve Tercihleri
Birsen DEMİREL, Neşe ŞAHİN YEŞİLÇUBUK, Alev YÜKSEL BİLSEL
Sayfa: 485 - 492
- Güçlü Manyeto-Elektrik Kuplajlı Biaksiyal Bianizotropik Malzemelerin Elektromanyetik Özelliklerini Elde Etmek İçin Uygulanabilir Dalga Kılavuzu Yöntemi
Yunus KAYA
Sayfa: 493 - 497
- Sütçü Manda Irklarının Performans ve Verimliliğini Etkileyen Faktörler ve Türkiye'deki Geleceği
Asiye YILMAZ ADKINSON, Yusuf KONCA
Sayfa: 498 - 508
- Strenx 1100 Çeliğinin MMY Şartları Altında Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü Değerlendirmesi
Mustafa KUNTOĞLU
Sayfa: 509 - 516
- Toprak Organik Karbonu ve Toprak Organik Karbon Stokları üzerine 1970-2021 Yılları Arasında Yapılan Araştırmaların Bibliyometrik Analizi
Emre ÇOMAKLI
Sayfa: 517 - 524
- Aşırı Parlak X-Işın Kaynağı M51 ULX-8'deki Nötron Yıldızının Dönme Periyodu Üzerine
Mehmet Hakan ERKUT
Sayfa: 525 - 530
- Türkiye'de Marmara Bölgesinde Elektronik Sektöründe Faaliyet Gösteren Firmaların Çalışanlarının Dünya Klasmanında Güvenlik Algı Düzeylerinin Ölçülmesi Üzerine Bir Araştırma
Ezgi TUNÇER
Sayfa: 531 - 541
- Logaritma Fonksiyonunun İrrasyonel Fonksiyon İle Temsili ve Bu Temsile Dayalı Üstel Fonksiyon Elde Edilmesi Üzerine
Müslüm ÖZİŞİK
Sayfa: 542 - 549

- Hidrojen Peroksitin Elektrokimyasal Tayini İçin Paladyum Katkılı İndirgenmiş Grafen Oksit Kompozitinin Tek Basamaklı Yeşil Sentezi*
Ersan TURUNC
Sayfa: 550 - 555
- İridyum Katkılı Grafen Yüzey Üzerinde NH₃ Ayırışma Reaksiyonu Mekanistik İncelemesi: Yoğunluk Fonksiyonel Teori Yaklaşımı*
Onur KARAMAN
Sayfa: 556 - 561
- Elektronik Uçuş Çantalarının Kullanımının Karar Ağacı Yöntemiyle Risk Analizi: Pilotlar Üzerine Örnek Çalışma*
Haşim KAFALI, Savaş ATEŞ
Sayfa: 562 - 570
- Rulman Hasarlarının Titreşim ve Gürültü Analizi ile Tespiti*
Habibe GÜRSOY DEMİR, Ozan MÜŞTAK
Sayfa: 571 - 581
- Antik Konuralp Kentinde Tarihsel Dönem Depremlerinin Antik Yapılara Etkisinin ve İzlerinin Araştırılması*
Ali ATEŞ
Sayfa: 582 - 593
- Adıyaman İli'nde Farklı Arazi Kullanımlarının Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri*
Ali Rıza ÖZTÜRKMEN, Emrah RAMAZANOĞLU, Ahmet ÇELİK, Mehmet ARSLAN
Sayfa: 594 - 600
- Mn Katkılı Grafen Yüzey Üzerinde NH₃ Olmadan NO'nun Katalitik İndirgenmesi: Bir Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi Çalışması*
Aykan AKÇA
Sayfa: 601 - 606
- Kırsal Alanda URM Binasının Deprem Davranışı Değerlendirmesi*
Başak ZENGİN
Sayfa: 607 - 614
- Artımsal Popülasyonlu Karga Arama Algoritması*
Burhanettin DURMUŞ, Ayhan GÜN, Hasan TEMURTAŞ
Sayfa: 615 - 622
- Zayıf Elektrik Balıklarında Duyumotor Kontrolcü ve Hareket Dinamiklerinin Alt Uzay Tabanlı Sistem Tanılaması*
İsmail UYANIK
Sayfa: 623 - 628
- Strenx 1100 Yapısal Çeliğinin MMY Destekli Frezelenmesinde Serbest Yüzey Aşınması Analizi*
Mustafa KUNTOĞLU
Sayfa: 629 - 635
- Kükürt Giderme Prosesli Oksi-Yakıt Yanmalı Enerji Santrali Modeli ve Farklı Kömür Tiplerinin İşletme Parametrelerine Etkisi*
Oğuzhan ERBAŞ, Halit ARAT
Sayfa: 636 - 643
- Yabani Kara Kuşburnu (R. pimpinellifolia L.) Meyvesinin Mineral İçerik ve Biyoaktif Bileşenler Açısından Değerlendirilmesi*
Özlem ÇAKIR, Berivan ERGEN
Sayfa: 644 - 649
- Kamu Kurumlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun İşveren, İşveren Temsilcisi veya Çalışan Temsilcileri Tarafından Uygulanmasının Değerlendirilmesi*
Şenol YAVUZ, Berna GÜR
Sayfa: 650 - 656
- Kentsel Dönüşüm ve Kentsel Stres Kavramlarının Olası İlişkileri*
Ece ÖZMEN, Tolga KAYACAN
Sayfa: 657 - 664

WLAN Uygulamaları için Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici Tasarımı

Aysu BELEN

Sayfa: 665 - 668

The Leukemia Healthy and Unhealthy Detection with Wavelet Transform Based On Co-Occurrence Matrix and Support Vector Machine

Salma ALBARGATHE, Akram GİHEDAN, Abdelhafid MOHAMED, Mansur ALİ MANSUR, Tarek A M NAGEM, Javad RAHEBİ

Sayfa: 669 - 674

Taşınabilir Fotovoltaik (PV) Sistem Tasarımı

İbrahim KIRBAŞ

Sayfa: 675 - 679

Samsun Bölgesi için Güneş Radyasyonunun Yapay Sinir Ağı ile Tahmini

Sema ARIMAN, Gaye Yeşim TAFLAN, Esra ÇELİK

Sayfa: 680 - 687

Farklı Toprak Ordolarında Yetiştirilen Ayçiçeği Çeşitlerinin Verim ve Bazı Bitki Özelliklerinin Belirlenmesi

Ferruh YILMAZ, Duygu BOYRAZ ERDEM

Sayfa: 688 - 696

Heyelan Sonucu Meydana Gelen Tsunamiler için Kıstas Bir Analitik Çözüm

Baran AYDIN

Sayfa: 697 - 701

Modife Formdaki Reaksiyon Difüzyon Denkleminin Faz Diyagramındaki Kararlılığı

Esen HANAÇ

Sayfa: 702 - 706

Üniversite Öğrencilerinin Covid-19 Salgını Sırasında Stres ve Beslenme Durumlarının Değerlendirilmesi

İrem ÖZAY ARANCIOĞLU, Hatice Kübra YILMAZ, Berrak ERGÜDEN, Kübra DERYA İPEK, Çiğdem YILDIRIM, Sümeyye BORA

Sayfa: 707 - 714

Döndürmeli Kaplama Yöntemi ile Kurkumin Kaplanmış Polikaprolakton Nanolif Yara Örtülerinin Hazırlanması ve in vitro Etkinliğinin İncelenmesi

Didem ŞEN KARAMAN, Nursu ERDOĞAN

Sayfa: 715 - 720

Al/SiC Kompozit Malzemelerde Seramik Bileşenin Hacimsel Oranının Elektriksel ve Isıl Özellikler Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelemesi

Murat AYDIN

Sayfa: 721 - 726

Sinüzoidal Uzaysal Kısmı Sahip Kısa Atımlı Lazer Işığının Meydana Getirdiği Fotoakustik Sinyalin Analitik Olarak İfadesi

Hakan ERKOL

Sayfa: 727 - 735

Kentsel Peyzajlarda Yol Kenarı Yeşil Alanların, Kent Ekosistemi Çerçevesinde Değerlendirilmesi

Gül Aslı AKSU

Sayfa: 736 - 748

Grafit Cevherleşmelerinin Sentinel-2 Uydu Görüntülerinden Belirlenmesinde En Uygun Bant Kombinasyonları

Muhittin KARAMAN

Sayfa: 749 - 757

İnce Film Hidrasyon ve Mikrofluidizasyon Yöntemleri Kullanılarak Polifenollerin Yüksek Verimle Nanokapsüllere Yüklenmesi

Mine ÖZGÜVEN, Kadriye Nur KASAPOĞLU, Ceren GÜNGÖR, Esra Nur ERTÜRK, Beraat ÖZÇELİK

Sayfa: 758 - 762

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Tromboliz Kateter Üretim Sürecindeki Risklerin KEMIRA-M Yöntemi ile Önceliklendirilmesi*
Ayşe Ceren TUTUŞ, Gülin CAN, Dilek ÇÖKELİLER
Sayfa: 763 - 773
- Bir Fibonacci ve Lucas dizisinde tekrarların bekleme süresi üzerine*
Abd Anasır EDABAA, Göksal BİLGİCİ
Sayfa: 774 - 781
- Üniversite Web Sitesi Ana Sayfalarının Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi: Göz İzleme Yaklaşımı*
Gonca Gökçe MENEKŞE DALVEREN, Serhat PEKER
Sayfa: 782 - 789
- Evsel Çamaşır Yıkamadan Oluşan Mikroplastik Salınımı*
Suna CELİK
Sayfa: 790 - 795
- Bulaşık Makinelerinde Oluşan Plastik ve Gıda Kaynaklı Kokuların Head Space GC-MS ile Tespiti*
Canan DOĞAN
Sayfa: 796 - 801
- Manavgat İlçesinin Örtüaltı Sebze Yetiştiriciliğinde Kirletici Faktörler ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi*
Atılğan ATILGAN, Ümran SARI, Burak SALTUK, Hasan ERTOP
Sayfa: 802 - 809
- Itır (Pelargonium graveolens) Uçucu Yağının FTIR, Raman ve GC-MS Teknikleri Kullanılarak Kimyasal Parmak İzinin Tespit Edilmesi*
Nur ÇEBİ
Sayfa: 810 - 814
- Elektrikle Çalışan VTOL Uçan Araba Tasarımı ve Aerodinamik Analizi*
Metin UZUN, Sezer ÇOBAN
Sayfa: 815 - 821
- Tümör Hacminde Meydana Gelen Değişikliğin Baş Boyun Kanselerinde İncelenmesi*
Yonca YAŞİ ÇELEN, Orhan ZEYBEK, Ayşe OKUMUŞ, H. Orhan KIZILKAYA, Tamer Oğuz GÜRSOY
Sayfa: 822 - 828
- Amycolatopsis sulphurea'dan Elde Edilen AsAlaDh'in 3D Modellemesi ve Biyoinformatiği*
Fatih AKTAŞ
Sayfa: 829 - 835



A Finite Element Method Study of Polymer Exchange Membrane Fuel Cell End Plate Materials by Using Arcan Specimen

Adem Avcu^{1*}, Gökhan Tüccar², Naghdali Choupani³

^{1*} Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Adana, Turkey
(ORCID: 0000-0001-9981-5311), ademavcu01@gmail.com

² Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Adana, Turkey
(ORCID: 0000-0003-3041-299X), gtuccar@atu.edu.tr

³ Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Adana, Turkey
(ORCID: 0000-0001-7872-6408), nchoupani@atu.edu.tr

(First received 11 December 2020 and in final form 1 May 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.837843)

ATIF/REFERENCE: Avcu, A., Tüccar, G. & Choupani, N. (2021). A Finite Element Method Study of Polymer Exchange Membrane Fuel Cell End Plate Materials by Using Arcan Specimen. *European Journal of Science and Technology*, (25), 1-5.

Abstract

In the current days, fuel cells are more preferred to generate electricity due to their positive sides. Because, if they use hydrogen and oxygen as fuel, they only produce electricity, heat, and water. This property of fuel cells is significant because it prevents environmental and chemical pollution, therefore, they contribute positively to the environment. In addition, they have more positive aspects such as having no moving or rotating parts. Therefore, they don't require mechanical maintenance and don't make noise. Besides, they can be used in a wide range of areas as mobile and stationary power sources for electricity generation. There are many fuel cell types but proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) is more common than the other fuel cell types. It consists of parts such as an endplate, bipolar flow plate, gas diffusion layer, catalyst layer, and membrane. End plates are located on the outer side of PEMFC and hold together its stacks. In the design of the endplates, the state of fracture energy should be considered in different loading conditions. Because the material may fail if it is designed only for the strength of materials concepts. In this paper, pure mode I, pure mode II and mixed mode fracture energy behavior of different materials were investigated numerically by using Arcan specimen.

Keywords: PEMFC, End plate, Fracture energy, Strain energy release rate, Arcan specimen.

Polimer Değişim Membranlı Yakıt Hücresi Uç Plakası Malzemelerinin Arcan Numunesi Kullanılarak Sonlu Eleman Yöntemi ile Çalışılması

Öz

Günümüzde yakıt pilleri, olumlu yönleri nedeniyle elektrik üretmek için daha çok tercih edilmektedir. Çünkü yakıt pilleri, yakıt olarak hidrojen ve oksijeni kullanırsa sadece elektrik, ısı ve su üretir. Yakıt pillerinin bu özelliği, çevre ve kimyasal kirlenmeyi engellemesi nedeniyle önemlidir, bu nedenle çevreye olumlu katkı sağlarlar. Ayrıca hareketli veya dönen parçaların olmaması gibi olumlu yönleri de vardır. Bu nedenle mekanik bakım gerektirmez ve gürültü oluşturmazlar. Ayrıca elektrik üretimi için mobil ve sabit güç kaynağı olarak çok çeşitli alanlarda kullanılabilirler. Birçok yakıt hücresi türü vardır, ancak proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC) diğer yakıt hücresi türlerinden daha yaygındır. Bir uç plakası, iki kutuplu akış plakası, gaz difüzyon katmanı, katalizör katmanı ve membran gibi parçalardan oluşur. Uç plakaları, PEMFC'nin dış tarafında bulunur ve hücre yığınlarını bir arada tutar. Uç plakaların tasarımında, farklı yükleme koşullarında kırılma enerjisi durumu dikkate alınmalıdır. Çünkü malzeme, yalnızca malzeme mukavemeti yaklaşımı ile tasarlanırsa başarısız olabilir. Bu makalede, Arcan numunesi kullanılarak farklı malzemelerin yalın mod I, yalın mod II ve karışık mod kırılma enerjileri ve malzemelerin kırılma davranışları sayısal olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PEMFC, Uç plaka, Kırılma enerjisi, Gerinim enerjisi boşalma oranı, Arcan numunesi.

* Corresponding Author: ademavcu01@gmail.com

1. Introduction

Energy production and supply have become one of the most important issues of humanity with the start of the industrial revolution. Fossil fuel has been used in all areas of industry and it is still used, but it causes environmental pollution and it has a bad influence on climate change. The increment of global warming has led to seek clean and renewable energy in the time. In renewable and clean energy sources, fuel cells have attracted much attention in current years owing to noiseless, low maintenance requirement, high energy efficiency and low emissions. Additionally, they can be used in wide range areas including stationary and mobile power source such as automotive, marine and aviation sectors [1-4].

Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) is more widespread than other fuel cell types due to following advantages: low temperature operation, high efficiency, nearly zero pollutants, simple structure and fast start up [1, 5-8]. It basically consists of end plate, bipolar flow plate, gas diffusion layer, catalyst layer and membrane. The PEMFC and its parts are given in Figure 1 [9]. Generally, gas diffusion layer, catalyst layer and membrane are combined with together hot pressing process and it is named as membrane electrode assembly (MEA) [10-15]. The main work principle of PEMFC is hydrogen protons transfer by MEA that affects performance of PEMFC. Also, MEA is affected from clamping pressure. The clamping pressure is provided by end plates that are located on the outer side of the fuel cell stacks. They should have properties such as low density, high mechanical strength, electrochemical stability, electrical insulation. Therefore, an appropriate material selection is important to prevent performance drop of PEMFC [13-15].

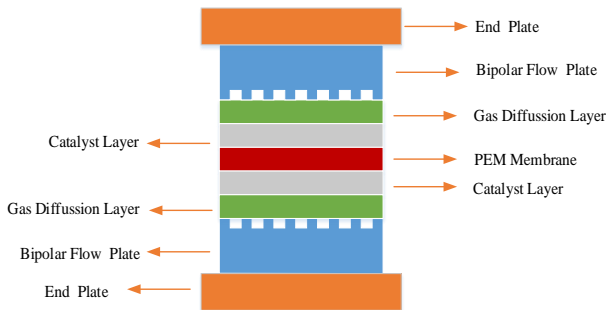


Figure 1. The PEMFC and its parts

Fracture energy is used to determine what kind of failure may occur under different loading conditions. There are three fracture energy modes that are mode I (opening), mode II (shearing) and mode III (tearing) [16-18]. Fracture modes are given in Figure 2 [9]. Fuel cells are used in different areas so they can be exposed to one fracture mode or combining of them. Generally, evaluation of fracture energy is obtained using only one method. But, Arcan specimen provides facility to observe fracture energy of the materials at mode I, mode II and mixed mode load conditions [19, 20].

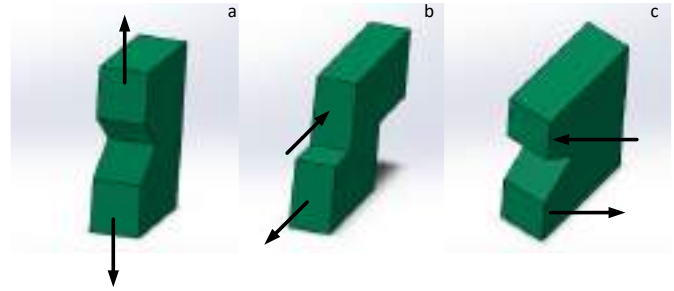


Figure 2. Fracture modes: (a) mode I (opening), (b) mode II (shearing), (c) mode III (tearing)

In this paper, numerical fracture analyses were carried out to find failure of end plate materials by using Abaqus package program. The materials were examined to obtain mode I, mode II and mixed mode fracture energy values under different loading angles by using Arcan specimen. As a result of the analyses, an appropriate material was determined for end plate.

2. Material and Method

End plates provides sufficient pressure to hold stacks together. They can be made from metal and non-metal materials. To provide proper pressure, they should have features such as high mechanical strength, electrical insulation, corrosion resistance and low density [13-16]. In this study, different materials are investigated for the most appropriate end plate material. They are selected as boron carbide (B_4C), E-glass/epoxy, brass, Kevlar-49/epoxy, NiAl alloy, SiC alloy, TiAl6V4 and T700/epoxy. Mechanical properties of the materials used for numerical analysis are listed in Table 1. The notation used is as follows: elastic modulus in x-direction (E_1), elastic modulus in y-direction (E_2), elastic modulus in z-direction (E_3), shear modulus in x-y direction (G_{12}), shear modulus in x-z direction (G_{13}), shear modulus in y-z direction (G_{23}), poisson's ratio in x-y direction (ν_{12}), poisson's ratio in x-z direction (ν_{13}), poisson's ratio in y-z direction (ν_{23}). Stress intensity factors and strain energy release rates of the materials were obtained numerically by using the Abaqus package program. Arcan specimen gives facility to obtain mode I, mode II and mixed mode fracture energy under different loading angles. Also, 1000 N load was applied to different materials by using Arcan specimen. The specimen models prepared with different fracture modes are shown in Figure 3.

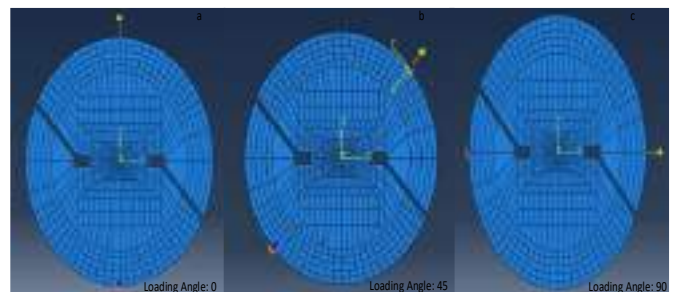


Figure 3. The Arcan specimen models prepared for different fracture modes: (a) pure mode I, (b) mixed mode, (c) pure mode II

Metals and their alloys materials are assumed as isotropic materials. The fracture energy of an isotropic material can be calculated by using Equations (1) and (2) for plane strain conditions [17]. The notation used is as follows: mode I stress

intensity factor (K_I), mode II stress intensity factor (K_{II}), strain energy release rate mode I (G_I), strain energy release rate mode II (G_{II}), elastic modulus (E) and poisson's ratio (ν) [27].

$$\begin{aligned} G_I &= K_I^2 / \bar{E} \\ G_{II} &= K_{II}^2 / \bar{E} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\bar{E} = E / (1 - \nu^2) \quad (2)$$

Composite specimens are considered as orthotropic linear elastic materials. Strain energy release rates (G_I , G_{II}) and the effective moduli (E_I , E_{II}) are given in Equations (3) and (4), respectively [18, 19]. Linear elastic fracture mechanics (LEFM) is a useful approach to investigate cracks on composites. Deformation of orthotropic linear elastic material is stated using generalized Hooke's law that is given in Equation (5). Elastic constants are stated as in Equation (6) [9, 18].

$$\begin{aligned} G_I &= K_I^2 / E_I \\ G_{II} &= K_{II}^2 / E_{II} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} E_I &= \sqrt{\frac{2}{b_{11}b_{22}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{b_{22}}{b_{11}} + \frac{2b_{12} + b_{66}}{2b_{11}}}} \\ E_{II} &= \frac{\sqrt{2}}{b_{11}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{b_{22}}{b_{11}} + \frac{2b_{12} + b_{66}}{2b_{11}}}} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Table 1. Elastic properties of the metallic alloys, ceramics and composite materials used.

Material	E_1 [GPa]	E_2 [GPa]	E_3 [GPa]	G_{12} [GPa]	G_{13} [GPa]	G_{23} [GPa]	ν_{12}	ν_{13}	ν_{23}
<i>B₄C</i> [21]	434	434	434	114.21	114.21	114.21	0.19	0.19	0.19
<i>Brass</i> [25]	101	101	101	38.55	38.55	38.55	0.31	0.31	0.31
<i>E-glass/ epoxy</i> [22]	41	12	12	5.50	5.50	3.50	0.28	0.28	0.50
<i>Kevlar-49/ epoxy</i> [22]	80	5.50	5.50	2.20	2.20	1.80	0.34	0.34	0.4
<i>NiAl</i> [23]	186	186	186	71	71	71	0.31	0.31	0.31
<i>SiC</i> [23]	450	450	450	184.43	184.43	184.43	0.22	0.22	0.22
<i>TiAl6V4</i> [26]	113.80	113.80	113.80	42.46	42.46	42.46	0.34	0.34	0.34
<i>T700/ epoxy</i> [24]	132	10.30	10.30	6.50	6.50	3.91	0.25	0.25	0.38

3. Results and Discussion

Kevlar-49/ epoxy exhibited the highest strain energy release at mode I (G_I) among all materials. But, when it comes to strain energy release at mode II (G_{II}), E-glass/ epoxy was the material having the highest value. The strain energy release rates of the materials can be seen in Table 2 for pure mode I, mode II and

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{E_x}; a_{22} = \frac{1}{E_y}; a_{33} = \frac{1}{E_z}; a_{44} = \frac{1}{G_{yz}}; a_{55} = \frac{1}{G_{xz}}; \\ a_{66} &= \frac{1}{G_{xy}}; a_{12} = a_{21} = -\frac{\nu_{xy}}{E_x} = -\frac{\nu_{yx}}{E_y}; \\ a_{13} &= a_{31} = -\frac{\nu_{xz}}{E_x} = -\frac{\nu_{zx}}{E_z}; a_{23} = a_{32} = -\frac{\nu_{yz}}{E_y} = -\frac{\nu_{zy}}{E_z} \end{aligned} \quad (6)$$

For plane strain condition $\varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{xz} = 0$, the generalized Hooke's law turns into Equation (7)

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{16} \\ b_{12} & b_{22} & b_{26} \\ b_{16} & b_{26} & b_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Where the constants b_{ij} are defined in terms of a_{ij} of the compliance matrix, which are given in Equations (8) and (9).

$$b_{ij} = a_{ij} - \frac{a_{i3}a_{j3}}{a_{33}} \quad (i, j=1, 2, 4, 5, 6) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} a_{16} &= a_{26} = a_{36} = a_{45} = 0, b_{16} = b_{26} = 0, \\ b_{11} &= \frac{a_{11}a_{33} - a_{13}^2}{a_{33}}, b_{12} = \frac{a_{12}a_{33} - a_{13}a_{23}}{a_{33}}, b_{22} = \frac{a_{22}a_{33} - a_{23}^2}{a_{33}}, \\ b_{66} &= \frac{a_{66}a_{33} - a_{36}^2}{a_{33}} \end{aligned} \quad (9)$$

Total strain energy release rate of material (G_T) is given in Equation (10).

$$G_T = G_I + G_{II} \quad (10)$$

total of mode I and II (G_I , G_{II} and $G_T = G_I + G_{II}$), respectively. The selected materials underwent different deformation modes due to different loading conditions. Additionally, they gave different results in terms of stress intensity factor and strain energy release rate characteristically because of dissimilar mechanical properties. Arcan specimen deformation results are given in Figure 4.

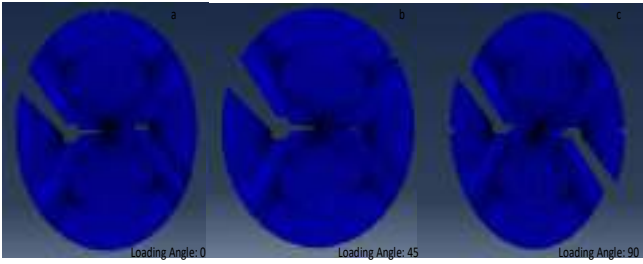


Figure 4. The Arcan specimen model deformations after different loading conditions: (a) pure mode I, (b) mixed mode, (c) pure mode II

Table 2. Strain energy release rates of the materials

Material	G_I	G_{II}	G_T
Kevlar-49/ epoxy	133.22	4.86	138.08
T700/ epoxy	95.11	3.60	98.71
E-glass/ epoxy	81.39	4.97	86.36
Brass	13.36	1.88	15.24
TiAl6V4	11.71	1.68	13.39
NiAl	7.61	1.17	8.78
B ₄ C	3.68	0.61	4.29
SiC	3.51	0.59	4.10

When all materials are investigated at mode I (G_I) loading condition, all of materials have the highest value at pure mode I fracture energy. As getting closer to mode II condition, mode I (G_I) starts to decrease progressively. When loading angle reaches to pure mode II condition, mode I (G_I) drops off to its the lowest value. Figure 5 shows that Kevlar-49/ epoxy gave the highest G_I value at mode I condition. On the other hand, SiC showed the lowest G_I value among the materials.

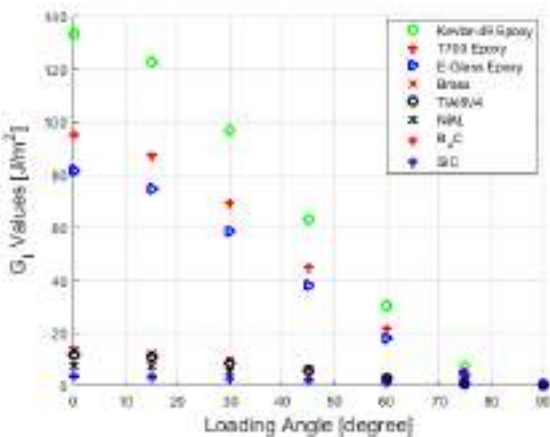


Figure 5. G_I versus loading angle graph

It can be seen that by approaching to pure mode II condition, G_{II} increases gradually. When loading angle reaches to pure mode II condition, G_{II} reaches to its the highest value. E-

glass/ epoxy exhibited the highest strain energy release rate among the materials at mode II condition. SiC gave the lowest G_{II} value. Mode II (G_{II}) versus loading angle graph is given in Figure 6.

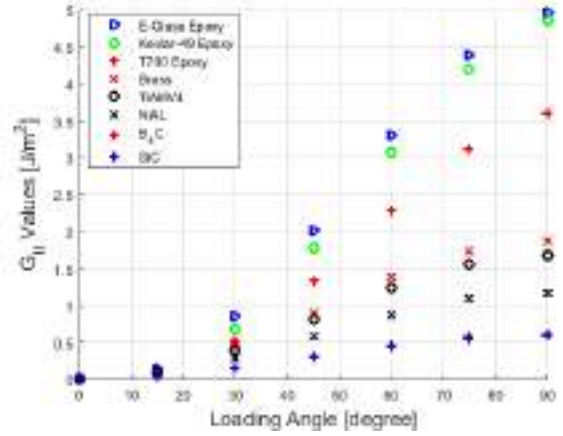


Figure 6. G_{II} versus loading angle graph

Total strain energy release rate of the material is summation of mode I and mode II strain energy release rates and it is expressed as G_T . All the materials had the maximum G_T at pure mode I condition. When approaching to pure mode II condition, G_T started to decrease gradually. But, G_T reached its lowest value at pure mode II point. It can be seen that Kevlar-49/ epoxy had the highest G_T at mode I condition. SiC had the lowest G_T value among the materials. Total strain energy release rate relative to angle is shown in Figure 7.

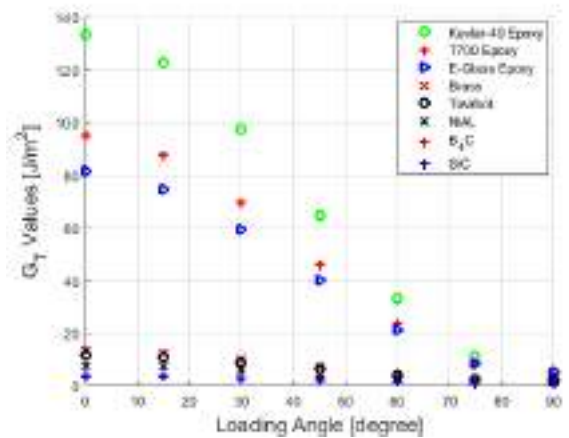


Figure 7. G_T versus loading angle graph

4. Conclusion

In this study, eight different materials were investigated to decide which one is more suitable for PEMFC end plate. Arcan specimen finite element model was used to calculate the fracture energy. 1000 N load was applied to find fracture energy of the materials for mode I, mode II and mixed modes. Loading angle was increased in increments of 15°, starting from 0° (pure mode I) until reaching 90° (pure mode II). According to the results, mode I strain release rate (G_I) was higher than mode II strain release rate (G_{II}) for all materials. In addition, Kevlar-49/epoxy had the highest G_I value among the other materials. E-glass/ epoxy had the highest G_{II} value. It can be seen that for isotropic materials, the increase in stiffness leads to a reduction of total strain energy release rate (i.e., an increase in the fracture resistance). The total strain energy release rate for Kevlar-

49/epoxy was higher than that of other composite materials, which leads to a reduction of fracture resistance in this material. A higher fracture resistance was obtainable with E-glass/epoxy composite which resulted in a reduction the total strain energy release rate. In this paper, finite element fracture analyses were performed to explain some of the issues related to the fracture energy of fuel cell end plate materials using Arcan samples. There is still a considerable activity in this area because of the importance of the issue. In order to expand the understanding of fractures and to more accurately determine the fracture criteria for PEMFC materials, additional experimental analyses should be performed using the mixed mode Arcan fracture test.

References

- Baroutaji, A., Carton, J. G., Sajjia, M., & Olabi, A. G. (2015). Materials in PEM fuel cells.
- Van Biert, L., Godjevac, M., Visser, K., & Aravind, P. V. (2016). A review of fuel cell systems for maritime applications. *Journal of Power Sources*, 327, 345-364.
- Gencoglu, M. T., & Ural, Z. (2009). Design of a PEM fuel cell system for residential application. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(12), 5242-5248.
- Wang, Y., Chen, K. S., Mishler, J., Cho, S. C., & Adroher, X. C. (2011). A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research. *Applied energy*, 88(4), 981-1007.
- Vishnyakov, V. M. (2006). Proton exchange membrane fuel cells. *Vacuum*, 80(10), 1053-1065.
- Qin, C., Wang, J., Yang, D., Li, B., & Zhang, C. (2016). Proton exchange membrane fuel cell reversal: a review. *Catalysts*, 6(12), 197.
- Elden, G., & Mert, T. A. Ş. (2014). Numerical Investigation of Anisotropic Electrical Conductivity Effects in Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 2-6.
- Haile, S. M. (2003). Fuel cell materials and components. *Acta Materialia*, 51(19), 5981-6000.
- Avcu, A. (2020). Fracture energy comparison of aluminum and boron composites for fuel cell end plates. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 7 (4), 149-153.
- Wilberforce, T., El Hassan, Z., Ogungbemi, E., Ijaodola, O., Khatib, F. N., Durrant, A., ... & Olabi, A. G. (2019). A comprehensive study of the effect of bipolar plate (BP) geometry design on the performance of proton exchange membrane (PEM) fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 236-260.
- Moreira, J., Sebastian, P. J., Ocampo, A. L., Castellanos, R. H., Cano, U., & Salazar, M. D. (2002). Dependence of PEM fuel cell performance on the configuration of the gas diffusion electrodes. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, 5(3), 173-176.
- Touhami, S., Mainka, J., Dillet, J., Taleb, S. A. H., & Lottin, O. (2019). Transmission line impedance models considering oxygen transport limitations in polymer electrolyte membrane fuel cells. *Journal of the Electrochemical Society*, 166(15), F1209.
- Kim, J. S., Park, J. B., Kim, Y. M., Ahn, S. H., Sun, H. Y., Kim, K. H., & Song, T. W. (2008). Fuel cell end plates: a review. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 9(1), 39-46.
- Asghari, S., Shahsamandi, M. H., & Khorasani, M. A. (2010). Design and manufacturing of end plates of a 5 kW PEM fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(17), 9291-9297.
- Yu, H. N., Kim, S. S., & Do Suh, J. (2010). Composite endplates with pre-curvature for PEMFC (polymer electrolyte membrane fuel cell). *Composite Structures*, 92(6), 1498-1503.
- Shameli, M., & Choupani, N. (2016). Fracture criterion of woven glass-epoxy composite using a new modified mixed-mode loading fixture. *International Journal of Applied Mechanics*, 8(02), 1650015.
- Choupani, N. (2009). Characterization of fracture in adhesively bonded double-lap joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29(8), 761-773.
- Choupani, N. (2008). Experimental and numerical investigation of the mixed-mode delamination in Arcan laminated specimens, *Materials Science and Engineering: A*, 478, 229-242.
- Hossein Abadi, R., Refah Torun, A., Mohammadali Zadeh Fard, A., & Choupani, N. (2020). Fracture characteristics of mixed-mode toughness of dissimilar adherends (cohesive and interfacial fracture). *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34(6), 599-615.
- Rahmani, A., & Choupani, N. (2019). Experimental and numerical analysis of fracture parameters of adhesively bonded joints at low temperatures. *Engineering Fracture Mechanics*, 207, 222-236.
- Kuliev, R., Orlovskaya, N., Hyer, H., Sohn, Y., Lugovy, M., Ha, D., ... & Blugan, G. (2020). Spark Plasma Sintered B4C—Structural, Thermal, Electrical and Mechanical Properties. *Materials*, 13(7), 1612.
- Kasavajhala, A. R. M., & Gu, L. (2011). Fracture analysis of Kevlar-49/epoxy and e-glass/epoxy doublers for reinforcement of cracked aluminum plates. *Composite structures*, 93(8), 2090-2095.
- Hsieh, C. L., & Tuan, W. H. (2005). Elastic properties of ceramic-metal particulate composites. *Materials Science and Engineering: A*, 393(1-2), 133-139.
- Hassan, S. A., Santulli, C., Yahya, M. Y. B., Gang, C. L., & Abu, B. M. N. (2018). The potential of biomimetics design in the development of impact resistant material. *FME Transactions*, 46(1), 108-116.
- Acosta-Flores, M., Jiménez-López, E., Chávez-Castillo, M., Molina-Ocampo, A., Delfín-Vázquez, J. J., & Rodríguez-Ramírez, J. A. (2019). Experimental method for obtaining the elastic properties of components of a laminated composite. *Results in Physics*, 12, 1500-1505.
- Schubert, A., Zeidler, H., Jahn, S. F., Flemmig, S., & Schulze, R. (2014). Vibration Analysis of an Ultrasonic-Assisted Joining System. *Procedia Engineering*, 69, 1021-1028.
- Avcu, A., Choupani, N., Tüccar, G. (2020). A Numerical Investigation of The Fracture Energy of Materials for Fuel Cell End Plates. *European Mechanical Science*, 5 (2), 56-63.



Gerçek Zamanlı Gömülü Sistemlerin Durum Diyagramları ile Modellenmesi

Sonay Duman^{1*}, Abdullah Elewi², Fırat Duman³

^{1*} Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9182-8177), sonayduman13@gmail.com

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9774-5292), elewi@mersin.edu.tr

³ İskenderun Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Bölümü, İskenderun, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2412-9867), firat.duman@iste.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 06 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.884420)

ATIF/REFERENCE: Duman, S., Elewi, A. & Duman, F. (2021). Gerçek Zamanlı Gömülü Sistemlerin Durum Diyagramları ile Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 6-11.

Öz

Gömülü gerçek zamanlı sistemler, Birleşik Modelleme Dili'nin en başarılı uygulama alanlarından biridir. Durum diyagramları davranış modellemesi için kullanılan Birleşik Modelleme Dili tekniklerinden biridir. Durum diyagramları bir sistemdeki kontrolü ve sıralamayı modellemek için kullanılır. Bu özellikle, büyük ölçüde duruma bağlı olan gerçek zamanlı gömülü sistemler için önemlidir. Duruma bağlı olarak çalışan sistemlerin anlık eylemleri yalnızca sistem girdisine değil aynı zamanda sistemde daha önce ne olduğuna da bağlıdır. Bu sebeple, her durumun önem taşıdığı gerçek zamanlı gömülü sistemleri durum diyagramları ile modellemek daha doğru sonuçlara ulaşmak açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, gerçek zamanlı gömülü sistemlerin modellenmesi için durum diyagramlarının kullanımı ve çeşitleri kod-diyagram dönüşümlü örnekler üzerinde açıklanarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gerçek zamanlı, Gömülü sistemler, Durum diyagramları, UML, SCXML.

Modeling Real-Time Embedded Systems with State Charts

Abstract

Embedded real-time systems are one of the most successful application areas of Unified Modeling Language. State diagrams are one of the Unified Modeling Language techniques used for behavior modeling. State machines are used to model the controlling and sequencing of a system. This is especially important for real-time embedded systems that are highly state-dependent. The instantaneous actions of state-based systems depend not only on system input but also on what happened before in the system. For this reason, it is important to model real-time embedded systems with state machines in order to achieve more accurate results. In this study, the use and types of state machines for modeling real-time embedded systems are examined by explaining code-diagram alternating examples.

Keywords: Real-time, Embedded systems, State chart, UML, SCXML.

* Sorumlu Yazar: sonayduman13@gmail.com

1. Giriş

Yazılım tasarımı, tüm yazılım geliştirme sürecinin önemli bir parçasıdır ve ürün geliştirme süreçlerinin ayrı bir alt süreci olarak adlandırılmaktadır. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) Standart Elektrik ve Elektronik Terimler Sözlüğü (IEEE Std 100 - 2000), "tasarım" terimini, bir sistemin mimarisini, bileşenlerini, ara yüzlerini ve diğer özelliklerini tanımlama süreci şeklinde açıklamaktadır. Bu nedenle, yazılım tasarımı aşamasında, sorumluluk atama ve yerine getirme, sistem mimarisi, görevlerin ayrılması, katmanlama ve modülerleştirme ile ilgili çok sayıda karar alınır (Bernstein ve Yuhas, 2005). Modellerin bu tür karmaşık ilişkileri anlamının etkili bir yolu olarak kullanılması mühendislik kadar eski bir yöntemdir. Bir model, ilgisiz detayları kaldırdığı veya gizlediği için tasarımcıların temel unsurlara daha kolay odaklanmasına olanak tanımaktadır. İyi modeller, hem sorunların hem de çözümlerin anlaşılmasını kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda tasarım amacını etkili bir şekilde iletmeye de hizmet eder. Asıl sistemi inşa etme masrafına ve zahmetine girmeden önce, farklı tasarım alternatiflerinin ilginç özelliklerini tahmin etmek ve böylece riski en aza indirmek için sıklıkla kullanılırlar. Gömülü uygulamalarda, ürün geliştirme süreci, gerçek zamanlı donanım ve alt sistem geliştirme gibi süreçleri de içerebilmektedir. Yazılım tasarımcıları, soruna göre gereksinimleri, doğrudan uygulama veya programlama için yeterli olan çözümün fiziksel modellerine dönüştürür. Gerçek zamanlı yazılım sistemler daha karmaşık hale geldikçe, bu tür sistemleri kesin olarak belirtmek, bu tür sistemlerdeki görevler arasındaki ve çevreleriyle olan etkileşimleri tanımlamak, kodun doğruluğunu tasarlamak ve doğrulamak daha da zorlaşmaktadır (Huang ve Sarjoughian, 2004).

Bu çalışmada, öncelikle yazılım modelleme kavramı açıklanarak, gerçek zamanlı sistemler ve bu tarz sistemlerin modellenmesi, modellemede durum diyagramlarının kullanımı detaylarıyla incelenmiştir. Son bölümde iste durum diyagramı "Kontrol Soyutlaması için Durum Diyagramı Gösterimi" olarak bilinen, "Durum Diyagramı genişletilebilir İşaretleme Dili" kısaltması SCXML(State Chart XML) olan dil kullanılarak durum diyagramı örnekleri verilecektir.

2. Yazılım Modelleme

Modeller, genellikle yazılım geliştirmede benimsenen açıklama biçimleridir. Gereksiz ayrıntılardan yoksun, önemli olanı temsil etmek ve iletmek için, geliştiricilerin araştırılan sorunun karmaşıklığı veya geliştirilmekte olan çözümle başa çıkmalarına yardımcı olmak amacıyla kullanılan soyutlamalardır. Modelleme, diğer tasarım ve mühendislik biçimlerinde kullanılır. İşin temel öğeleri veya süreçlerin nasıl çalıştığı gibi bazı modeller sorun alanının özelliklerini yakalamak için kullanılırken, diğer modeller yazılımın nasıl olduğu gibi farklı yönlerini dikkate almak için kullanılır. Her model, sistemin bazı görüşlerinin soyut bir temsildir ve bu tür görüşler, geliştirme süreci ilerledikçe değişebilir.

Yazılım geliştirmede farklı bakış açıları modeller oluşturmak mümkündür. Alan modelleme, belirli bir problem için bağlam bilgisini anlamak ve modellemekle ilgilenir. Bir alan modeli, gerçek dünya problem bağlamındaki ana kavramların bir temsildir. Spesifikasyon modeli, bir soruna yazılım çözümünde kullanılan yazılım öğelerini temsil eder ve temelde yazılım

tarafından sağlanan hizmetlerin yüksek düzeyde soyutlamayla tanımlanmasıyla ilgilidir. Tasarım modellemesi, yazılım sisteminin kendisini, çeşitli bölümlerine sorumlulukların tahsisi, davranışı ve kontrol akışı ile tanımlar. Modeller, genellikle teknikler olarak adlandırılan belirli dil kuralları takip edilerek oluşturulur ve bu kuralları takip ederler; örneğin, modeller anlatıya, diyagramlara ve hatta matematiğe dayalı olabilir (Bernstein ve Yuhas, 2005; Chan, 2003).

2.1. Birleşik Modelleme Dili (UML)

Yazılım geliştirmede iyi bilinen modelleme teknikleri, Birleşik Modelleme Dili (Unified Modeling Language - UML) altında tanımlanmıştır. UML, şu anda yazılım endüstrisi tarafından kullanılan en popüler ve başarılı standartlardan biridir. UML, 1980'lerde ve 1990'ların başında ortaya çıkan, yeni teknikler ve hatta gösterimi daha da genişletmek için bir mekanizma ile güçlendirilen birkaç notasyonun birleştirilmesinin sonucudur. UML'nin bir geliştirme süreci değil, bir modelleme dili olduğuna dikkat etmek önemlidir. UML bir dizi teknik sunar, ancak bu tekniklerin geliştirme sırasında kullanılıp kullanılmayacağını veya nasıl kullanılması gerektiğini belirtmez. Aslında, UML birleştirme alıştırmasının sonucu olduğu için birçok farklı süreç ve uygulamada esnek bir şekilde kullanılabilir ve aynı teknik farklı amaçlara hizmet edebilir. Ayrıca, UML modelleri farklı hassasiyet seviyelerinde oluşturulabilir. UML, hem bir taslak notasyonu olarak, örneğin fikirleri not almak veya paydaşlar arasında iletmek için hem de yazılım sistemlerinin yönlerinin kesin bir açıklaması için, örneğin sistem işlevlerinin yarı-biçimsel belirtimi olarak eşit derecede etkili bir şekilde kullanılabilir.

2.2. Gerçek Zamanlı Sistemleri Modellemede UML Kullanımı

Gerçek zamanlı sistemler son zamanlarda, çoğunlukla kontrol amacıyla kullanılan küçük, gömülü cihazların gittikçe daha güçlü hale gelmesinden dolayı giderek daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Gerçek zamanlı sistemler, gittikçe daha karmaşık görevleri gerçekleştirmeye olanak sağlamaktadır. Bu durum, bu tür sistemlerin karmaşıklığının ve geliştirme maliyetinin artmasıyla sonuçlanabilmektedir. Tasarlanan sistemin kalite beklentilerini karşılayıp karşılamadığını önceden kontrol etmek büyük önem taşımaktadır. Nihai sistemin kalitesini tahmin etmek için mevcut modelleme yöntemleri bulunmaktadır (Tomaszewski, n.d.). UML, nesne yönelimli yazılım modellerinin oluşturulması için standart bir yöntem olarak OMG tarafından benimsenmiştir (OMG, n.d.). 1997'deki tanıtımından bu yana, UML oldukça hızlı bir şekilde yaygınlaşmış ve şu anda hem endüstri hem de akademi tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, birçok yazılım sisteminin niteliksel yönlerini modellemek için uygun olduğu kanıtlanmış olsa da, orijinal tanım bu sistemlerin nicel yönlerini ifade etmek için standart bir araç sağlamadı. Örneğin, gerçek zamanlı sistemlerde, belirli eylemlerin maksimum kabul edilebilir süresi, gerekli ve mevcut iletişim üretim hızları ve zaman aşımı değerleri gibi bir modelin belirli öğeleriyle ilişkili zamansal kısıtlamaların belirlenmesi genellikle gereklidir. Sonuç olarak, bu bilgiyi bir UML modeline dâhil etmek için birçok farklı ve karşılıklı olarak yöntem tanımlanmıştır (Douglass, 1999; Gomaa, 2006; Kabous ve Nebel, 1999; Kähkipuro, 1999; Lanusse, Gérard ve Terrier, 1998; Selic, 1999; Selic, 2000). Bu çeşitlilik, bir standart kullanmanın bazı temel faydalarını açıkça azaltmıştır. Bunu

düzeltilmek için OMG, bir UML modelinde geçici özellikleri belirtmek için standartlaştırılmış yolları tanımlayacak bir profil isteyerek orijinal UML spesifikasyonunu tamamlamaya çalışmıştır (OMG, n.d.). Bu profil, "Planlanabilirlik, Performans ve Zaman için UML Profili" olarak adlandırıldı. Profilin, zaman ve zamanlama mekanizmalarının modellemesini standartlaştırmaya ek olarak, programlanabilirlik ve çeşitli performans ölçüleri gibi belirli zamanla ilgili özellikler için UML modellerinin resmi analizini desteklemeyi amaçladığı söylenebilmektedir (OMG, n.d.; Selic ve Motus, 2003).

UML'nin bir diğer uzantısı olan Gerçek Zamanlı UML(UML-RT), Gerçek Zamanlı Nesneye Yönelik Modellemeye dayalı ek modelleme yapıları sunar. Bununla birlikte karmaşık, olay güdümlü ve dağıtılmış gerçek zamanlı sistemleri modellemeyi hedeflemektedir. Gerçek zamanlı sistemlerin hem mantıksal hem de fiziksel yönlerinin belirlenmesini desteklemektedir. UML-RT, sistemlerin bireysel yapısı ve davranışsal yönlerini ve bunların ilişkilerini modellemek için kullanılabilir (Selic, 1999).

2.1.1. Durum Diyagramları

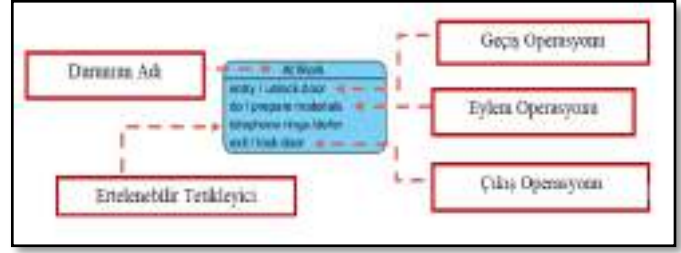
Gerçek zamanlı sistem geliştirmenin karmaşıklığı, ağırlıklı olarak ana özelliği olan "zamanlama" ile bağlantılıdır. Bir sistemin doğruluğu, yalnızca sistemin ne yaptığını açıklayan işlevsel gereksinimlerle değil, aynı zamanda hizmet sunumunun kalite yönlerine atıfta bulunan işlevsel olmayan gereksinimlerle de değerlendirilir. "Geç cevap yanlış cevaptır" kuralı, hangi kalite unsurlarının en önemli kabul edildiğini açıkça belirtir. Bu durumda, gerçek zamanlı sistemler modellenirken sistemin "zamanlama" konusunda ince detaylarıyla tasarlanması gerekmektedir. UML Durum diyagramı diyagramları gerçek zamanlı sistemlerin tasarlanması için oldukça kullanışlı diyagramlardır. Durum geçişi, bir giriş olayının neden olduğu bir durum değişikliğidir. Bir varlığın davranışı yalnızca girdilerinin doğrudan bir sonucu değildir, aynı zamanda önceki durumuna da bağlıdır. Bir varlığın geçmişi en iyi durum diyagramları ile modellenir. UML Durum Diyagramları (veya bazen durum makinesi veya durum şeması olarak da anılır) bir varlığın farklı durumlarını gösterir. Durum diyagramları, bir varlığın bir durumdan diğerine geçerek çeşitli olaylara nasıl tepki verdiğini de gösterebilir (Gomaa, 2011). Durum diyagramı, bir sistemin dinamik doğasını modellemek için kullanılan bir UML diyagramıdır. UML'de David Harel'in durum diyagramları kavramına dayanan sistemlerin davranışını açıklamak için kullanılan bir diyagram türüdür. Durum diyagramları, izin verilen durumları ve geçişleri ve bu geçişleri etkileyen olayları gösterir. Nesnelerin tüm yaşam döngüsünü görselleştirmeye ve böylece duruma dayalı sistemlerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur (Harel, 1987). Durum diyagramı gösterimleri özellikleri, türlerine bakılmaksızın genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Bir durum bir zaman aralığını kaplar.
- Bir durum genellikle bazı koşulu / koşulları karşılayan bir varlığın öznitelik değerlerinin bir soyutlamasıyla ilişkilendirilir.
- Bir varlık(entity), durumunu yalnızca mevcut girdinin doğrudan bir sonucu olarak değiştirmez, aynı zamanda girdilerinin geçmiş geçmişine de bağlıdır.

Durum, bir nesnenin yaşam döngüsündeki bir kısıtlama veya bir durumdur, burada bir kısıtın tuttuğu, nesne bir etkinliği

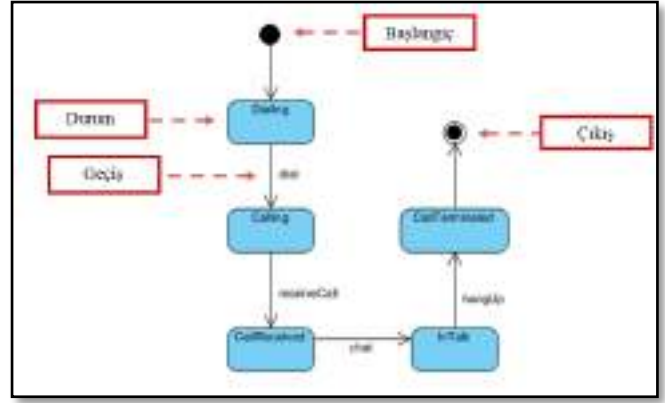
yürütür veya bir olayı beklemektedir (Şekil 1). Durum diyagramı, aşağıdakilerden oluşan bir grafikdir:

- Durumlar (basit durumlar veya bileşik durumlar)
- Durumları birbirine bağlayan durum geçişleri



Şekil 1. Durum Gösterimi

Bir durum, bir nesnenin yaşam döngüsündeki bir kısıtlama veya bir durumdur, burada bir kısıtın tuttuğu, nesne bir etkinliği yürütür veya bir olayı beklemektedir(Şekil 1). Durum diyagramı, durumlar (basit durumlar veya bileşik durumlar) ve durumları birbirine bağlayan durum geçişlerinden oluşan bir grafikdir (Şekil 2).



Şekil 2. Durum Diyagramı Örneği

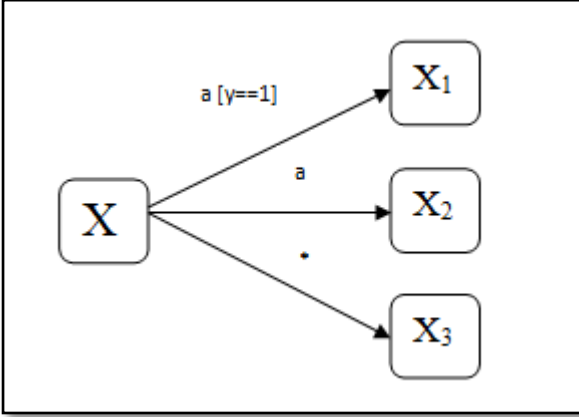
3. Durum Diyagramı XML (SCXML)

SCXML, açılımı Durum Diyagramı XML olan ve "Kontrol Soyutlaması için Durum Diyagramı Gösterimi" anlamına gelen durum diyagramlarının XML kodlaması ve Harel durum diyagramlarına dayalı genel durum diyagramı tabanlı bir yürütme ortamı sağlayan bir biçimlendirme dilidir (W3C, n.d.). SCXML, karmaşık sonlu durum diyagramlarını tanımlayabilir. Örneğin, SCXML'de alt durumlar, paralel durumlar, senkronizasyon veya eşzamanlılık gibi gösterimleri açıklamak mümkündür. Kısaca SCXML, anlambilimin biçimsel bir tanımını da içeren, durum diyagramlarının XML kodlamasıdır. Bu bölümde SCXML dilinin gerçek zamanlı sistemleri modellemek için kullanımı anlatılacaktır.

3.1. SCXML ile Gerçek Zamanlı Sistemlerin Modellemesi

SCXML semantiği çoğunlukla Harel durum diyagramlarını kullanır. Klasik durum diyagramlarında, durumu tanımlayan her geçerli parametre kombinasyonu için farklı düğümlerin oluşturulmasını gerektirir. Bu, en basit sistemler (durum ve geçiş çarpışması) dışında tümü için çok fazla sayıda düğüme ve düğümler arasında geçişlere yol açabilir. Bu karmaşıklık, durum diyagramının okunabilirliğini azaltır. Harel durum diyagramları ile durum diyagramları içinde çoklu fonksiyonlar arası geçişi

modellemek mümkündür. Bu çapraz işlevli durum diyagramlarının her biri, durum tablosundaki diğer durum diyagramlarını etkilemeden geçiş yapabilir (Harel, 1987). Örneğin, durum diyagramları, durumlar arasında geçişleri gerçekleştirirken ve durumlara girip çıkarken eylemler gerçekleştirilebilir. Ayrıca, geçişler koşullar tarafından korunabilir. Bu nedenle, geçişler yalnızca adı "event" özneliğiyle eşleşen bir olay ortaya çıkarsa ve geçişteki "cond" koşulu yerine getirilirse seçilecektir. Şekil 3-4, örnek SCXML kodunu ve ilgili durum diyagramını göstermektedir (Radomski, Schnelle-Walka ve Radeck-Arneth, 2013).



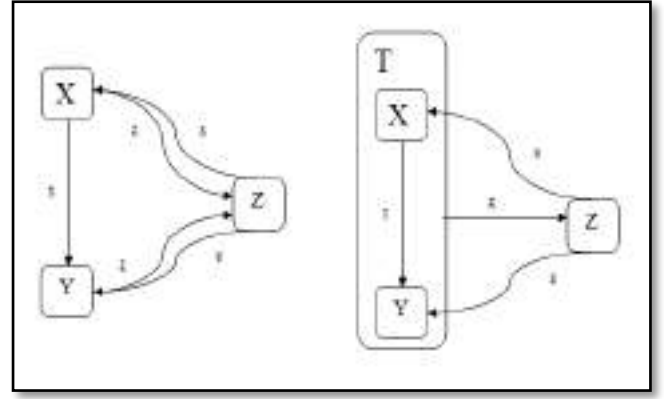
Şekil 3. Durum Diyagramı Örneği

```
<state id="x">
  <transition event="a" cond="y==1" target="x1"/>
  <transition event="a" target="x2"/>
  <transition event="." target="x3"/>
</state>
```

Şekil 4. SCXML ile Gösterimi

Burada, hem a olayı meydana geldiğinde hem de y 1'e eşit olduğunda sistem X₁'e geçecektir, ancak e olayı meydana gelirse ve y 1'e eşit değilse, X₂'ye geçecektir. Son olarak, başka bir olay meydana gelirse, X₃'e geçecektir (W3C, n.d.).

Harel durum diyagramlarındaki en güçlü kavram, bileşik durumların iç içe geçmiş durumlar içerebilen hiyerarşi kavramıdır. Bir bileşik durum, paylaşılan davranışı temsil eden, böylece fazlalıktan kaçınan ve geçişlerin geçersiz kılınmasını sağlayan bir atomik veya diğer bileşik durumları grubudur. Aşağıdaki iki eşdeğer durum diyagramını düşünün: İkincisi, X ve Y olmak üzere iki atomik durumdan oluşan bir bileşik T durumuna sahiptir. İlk şekilde z olayı üzerindeki geçişler, ikinci şekilde T bileşik durumundan tek bir geçişe soyutlanmıştır. Yeni bir ana durumda iki veya daha fazla durumun bu şekilde kümelenmesi bu örnekte önemsiz görünse de, büyük ve karmaşık sistemlerde faydalı olmaktadır. Bileşik durumlar, geçişlerin seçilme şeklini etkiler (Harel ve Politi, 1998). Bu bileşik durum kavramını açıklamak için, Şekil 5'te örnek 1 ve 2'de verilen anlamsal olarak eşdeğer iki durum diyagramı verilmiştir. İkinci durum diyagramı, iki atomik durum X ve Y'den oluşan bir bileşik durum T'ye sahiptir.



Şekil 5. Örnek 1 ve Örnek 2 Durum Diyagramları

Örnek 1 ve örnek 2 için SCXML kodu gösterimleri Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.

```
<state id="A">
  <transition event="c" target="C"/>
  <transition event="d" target="B"/>
</state>

<state id="B">
  <transition event="c" target="C"/>
</state>

<state id="C">
  <transition event="a" target="A"/>
  <transition event="b" target="B"/>
</state>
```

Şekil 6. Örnek 1'in SCXML ile Gösterimi

```
<state id="D">
  <state id="A">
    <transition event="d" target="B"/>
  </state>
  <state id="B"></state>
  <transition event="c" target="C"/>
</state>

<state id="C">
  <transition event="a" target="A"/>
  <transition event="b" target="B"/>
</state>
```

Şekil 7. Örnek 2'nin SCXML ile Gösterimi

3.1.1. Trafik Lambası Örneği

Trafik sinyalleri dönüşümlü olarak bir kavşaktaki farklı trafik hareketlerine geçiş hakkı atar ve araç trafiğinin en kontrollü şekilde akmasına izin verilir. Sinyal ekranlarını değiştirmek için bir kontrolör kullanılır. Kavşaklardaki sinyal dizisi kırmızı, sarı ve yeşildir. Sarı bir sinyalin görüntülediği standart süre üç saniyede sabittir. Yeşil sinyalin süresi, kontrol yöntemine bağlı olacaktır. Sinyal dizisi döngüsünün 120 saniyeden fazla olması tavsiye edilmemektedir. Şekil 8'de trafik lambalarının çalışma yapısı durum diyagramı şeklinde

verilmiştir. Zamanlayıcının başlaması bir eylem operasyonudur ve ardından olayDur, olayZamanlayıcıMaxSüre olarak geçiş operasyonları tanımlanmıştır. Bu operasyonlar işlemlerin sonlanması için “son” basamağına geçiş yapıldığını göstermektedir. Daha sonra Kırmızı, Sarı ve Yeşil durum operasyonları tanımlanmıştır. Durum operasyonları içerisinde, ışıkların yanması ve durması için eylem operasyonları, ışıklar arası geçişin sağlanması için de geçiş operasyonları tanımlanmıştır. Trafik lambası örneğinin durum diyagramı SCXML yapısı ile kodlanmıştır. Öncelikle “event” öznitelikleri tanımlanarak ardından durumlar (state) oluşturulmuştur. Durumlar içerisinde geçiş ve eylem operasyonları yer almaktadır. Son olarak, sistemin durduğu nokta olan “End” durumu tanımlanmıştır.



Şekil 8. Trafik Lambası Durum Diyagramı

Trafik Lambası Durum Diyagramı için SCXML kodu aşağıdaki gibidir.

```
<events>
  <eventSource name="ManagementEvents">
    <event id="evdStop"/>
  </eventSource>
  <eventSource name="TimerEvents">
    <timer id="evTimerMaxDuration" name="MaxDuration"/>
    <timer id="evTimerLight" name="Timerlight"/>
  </eventSource>
</events>
<!-- States -->
<state name="TrafficLight">
  <onEntry>
    <timerStart timer="MaxDuration"
duration="light.getMaxDuration()"/>
  </onEntry>
  <transition event="evdStop" nextState="End"/>
  <transition event="evTimerMaxDuration" nextState="End"/>
  <state name="Red">
    <onEntry>
      <action>light.turnOffRed()</action>
      <timerStart timer="Timerlight"
duration="light.getRedDuration()"/>
    </onEntry>
    <onExit>
      <action>light.turnOffRed()</action>
      <timerStop timer="Timerlight"/>
    </onExit>
    <transition event="evTimerLight" nextState="Green"/>
  </state>
  <state name="Yellow">
    <onEntry action="light.turnOnYellow()"/>
    <timerStart timer="Timerlight"
duration="light.getYellowDuration()"/>
    <onExit action="light.turnOffYellow()"/>
    <transition event="evTimerLight" nextState="Red"/>
  </state>
  <state name="Green">
    <onEntry action="light.turnOnGreen()"/>
    <timerStart timer="Timerlight"
duration="light.getGreenDuration()"/>
    <onExit action="light.turnOffGreen()"/>
    <transition event="evTimerLight" nextState="Yellow"/>
  </state>
  <state name="End" kind="final"/>
</state>

```

Şekil 9. Trafik Lambası Örneğinin SCXML ile Gösterimi

4. Sonuç

Bu çalışmada gerçek zamanlı gömülü sistemlerin durum diyagramları ile modellenmesi, SCXML yapısı ve kullanımı örnekler ile incelenmiştir. Özellikle karmaşık yapıda ve çalışırken oluşabilecek hataların büyük sonuçlara sebep

olabileceği gerçek zamanlı sistemlerin tasarlanma aşamasında, durum diyagramları ile karmaşıklıkları en aza indirmek mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda, yeni tasarlanan sistemleri veya var olan sistemlerde yapılacak değişiklikleri modellemek için durum diyagramları ile SCXML yapısını kullanmak geliştiricilere büyük kolaylık sağlayacaktır. Bununla birlikte, SCXML, kullanırken bazı zorluklarla birlikte gelen oldukça yeni bir teknolojidir. Örneğin, bu tür modellerin oluşturulmasına ve çalıştırılmasına izin veren yalnızca birkaç profesyonel geliştirme ortamı vardır. SCXML belgelerini düzenlemeyi destekleyen uzantılar ve araçlar arttıkça SCXML modellerinin kullanımını kolaylaştıracaktır.

Kaynakça

Bernstein, L., ve Yuhas, C. M. (2005). *Trustworthy systems through quantitative software engineering* (Vol. 1). John Wiley & Sons.

Chan, C. W. (2003). Knowledge and software modeling using UML. *Software and Systems Modeling*, -1(1), 1-1. doi:10.1007/s10270-004-0057-y

Douglass, B. P. (1999). *Doing hard time: developing real-time systems with UML, objects, frameworks, and patterns* (Vol. 1). Addison-Wesley Professional.

Gomaa, H. (2006, May). Designing concurrent, distributed, and real-time applications with UML. In *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering* (pp. 1059-1060).

Gomaa, H. (2011). *Software modeling and design: UML, use cases, patterns, and software architectures*. Cambridge University Press.

Harel, D. (1987). Statecharts: A visual formalism for complex systems. *Science of computer programming*, 8(3), 231-274.

Harel, D., & Politi, M. (1998). *Modeling reactive systems with statecharts: The statemate approach*. New York: McGraw-Hill.

Huang, D., & Sarjoughian, H. (2004). Software and simulation modeling for real-time software-intensive systems. *Eighth IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications*. doi:10.1109/ds-rt.2004.37

Kabous, L., & Nebel, W. (1999, October). Modeling hard real time systems with uml the ooharts approach. In *International Conference on the Unified Modeling Language* (pp. 339-355). Springer, Berlin, Heidelberg.

Kähkipuro, P. (1999, October). UML based performance modeling framework for object-oriented distributed systems. In *International Conference on the Unified Modeling Language* (pp. 356-371). Springer, Berlin, Heidelberg.

Lanusse, A., Gérard, S., & Terrier, F. (1998, June). Real-time modeling with UML: The ACCORD approach. In *International Conference on the Unified Modeling Language* (pp. 319-335). Springer, Berlin, Heidelberg.

OMG (n.d.). RFP for scheduling, performance, and time. (n.d.). Retrieved February 15, 2021, from <https://www.omg.org/spec/UML/About-UML/>

OMG (n.d.). *UML profile for schedulability, performance, and time specification*. Retrieved February 15, 2021, from <https://www.omg.org/spec/UML/About-UML/>

OMG (n.d.). *Unified modeling language specification (version 2.5.1)*. Retrieved February 15, 2021, from <https://www.omg.org/spec/UML/About-UML/>

Radomski, S., Schnelle-Walka, D., & Radeck-Arneth, S. (2013, August). A prolog datamodel for state chart XML.

- In *Proceedings of the SIGDIAL 2013 Conference* (pp. 127-131).
- Selic, B. (1999). Turning clockwise: using UML in the real-time domain. *Communications of the ACM*, 42(10), 46-54.
- Selic, B. (2000). A generic framework for modeling resources with UML. *Computer*, 33(6), 64-69.
- Selic, B., & Motus, L. (2003). Using models in real-time software design. *IEEE Control Systems Magazine*, 23(3), 31-42.
- Tomaszewski, P. (n.d.). Real-time systems modelling using UML. Retrieved February 15, 2021, from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.109.3394&rep=rep1&type=pdf>
- W3C (n.d.). *State chart Xml (scxml): State Machine notation for control abstraction*. Retrieved February 15, 2021, from <http://www.w3.org/TR/scxml>



Hava Körüklerinin Statik ve Dinamik Sönümlenme Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi

Hasan Kasım^{1*}, Erol Özkan², Murat Yazıcı³

^{1*} Pega Otomotiv San. ve Tic. A.Ş., R&D Center, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3024-5207), hasan@pegairsprings.com

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8382-3461), erolozkan149@gmail.com

³ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8720-7594), myazici@uludag.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 15 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.897413)

ATIF/REFERENCE: Kasım, H., Özkan, E., Yazıcı, M. (2021). Hava Körüklerinin Statik ve Dinamik Sönümlenme Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 12-22.

Öz

Araç dinamikleri açısından, süspansiyon sistemi, yüksek sürüş hızlarında yol düzensizliklerine karşı iyi sürüş kalitesini ve yol tutuş performansını korumalıdır. Körükler, uzun yıllardır ticari araçlarda ve otobüslerde, sürüş yüksekliğini korumak ve yükten bağımsız olarak araç konforunu artırmak için kullanılmaktadır. Hava yayları malzeme yapısı nedeniyle, çalışma sırasında tek yönlü gerilmelere maruz kalmazlar ve doğrusal olmayan davranış sergilerler. Kompozit yapı, farklı kalınlıktaki iç ve dış kauçuk arasında iki katman olarak zıt açılarda sarılan kord bezinden oluşur. Bu yüzden tek başına yüklemenin neden olduğu değişikliklerin ampirik olarak belirlenmesi zordur. Bu çalışmada hem deneysel hem de sonlu eleman yöntemleri ile havalı süspansiyon sisteminin bir parçası olan hava körüklerinin statik ve dinamik sönümlenme özellikleri araştırılmıştır. Statik ve dinamik sönümlenme özellikleri belirlenirken, farklı basınç ve deplasmanlardan dolayı körüklerde oluşan reaksiyon kuvvet değerleri kullanılmıştır. Sıkıştırma sonrası geri yaylanma esnasında deneysel ve analitik çalışmalardan elde edilen yay sabitlerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Minimum yükseklige ulaşıldıktan sonra geri hareket başladığı anda yay sabitinde yaklaşık %10'luk bir sapma gözlemlenmiş, sonrasında %6'dan daha az bir sapma değeri gözlemlenmiştir. Deneysel ve analitik çalışmalarda, anlık yükleme sonucunda elde edilen yay sabitleri arasındaki sapma değerleri %4'ün altında hava körüklerinde FEA analizinin etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hava körüğü, Sonlu Elemanlar Analizi, Kord-kauçuk kompozitler, Hiper elastik malzeme, Sürüş konforu.

Examination of the Static and Dynamic Damping Properties of Air Springs by Method of Finite Elements

Abstract

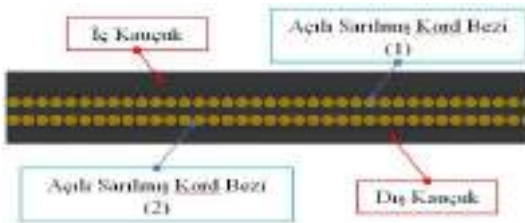
In terms of vehicle dynamics, the suspension system must maintain good ride quality and handling performance against road irregularities, especially at high driving speeds. Air springs have been used in commercial vehicles and buses for many years to maintain ride height and increase vehicle comfort regardless of load. Due to the air springs' material structure, they are not subjected to unidirectional stresses during operation and exhibit non-linear behavior. The composite structure consists of four layers with cord fabric wrapped at opposite angles as two layers between inner and outer tires of different thickness. Therefore, the changes caused by loading alone are difficult to determine empirically. In this study, the static and dynamic damping properties of air springs, which are a part of the air suspension system, were investigated by both experimental and finite element methods. While determining the static and dynamic damping properties, the reaction force values formed in the air springs due to different pressure and displacement were used. Differences were observed in spring constants obtained from experimental and analytical studies during spring back after compression. After reaching the minimum height, a deviation of about 10% in the spring constant was observed when the backward movement started, and then a deviation of less than 6% was obtained. In experimental tests and analytical studies, it has been observed that the deflection values between the spring constants obtained as a result of instantaneous loading remain below 4% and that FEA analysis can be used effectively in air spring analysis.

Keywords: Air spring, Finite element analysis, Cord-rubber composites, Hyper Elastic Materials, Ride comfort.

* Sorumlu Yazar: hasan@pegairsprings.com

1. Giriş

Sürüş konforunu arttırmak ve daha iyi yol tutuş performansı sağlamak için hava körükleri, demiryolu araçlarından (Bruni vd., 2011), lüks binek otomobillere (Sun vd., 2017), şehirlerarası otobüslere ve ticari araçlara (Lee vd., 2010). kadar birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Hava yaylarının kullanımındaki bu artış, ayarlanabilir taşıma kapasitesi, azaltılmış ağırlık, değişken yay sertliği, aracın gövdesini, taşıdığı yükü ve araçta bulunan insanları düzensiz yol yüzeylerinden yayılan titreşimden koruması gibi sunduğu sayısız avantajdan kaynaklanmaktadır. Uzun süreli ve yüksek seviyeli titreşim, sürücünün rahatsızlığına ve yorgunluğuna, taşınan yükün deforme olmasına veya bir araç kazasına neden olur (Zhang vd., 2016). Bu sebep ile araç süspansiyonunu tasarlarken, yaylanma sertliği ve sönümleme özellikleri dikkate alınır. Araç farklı sürüş koşullarında çalışırken yay sertliği gereksinimleri değişir. Hızlanırken, frenlenirken ve viraj alırken, dinamik süspansiyonun yer değiştirmesini azaltmak için yay sertliği artırılmalıdır (Oman vd., 2010). Bununla birlikte, normal sürüş koşullarında, sürüş düzgünlüğünü iyileştirmek için süspansiyon sertliği daha yumuşak olmalıdır. Bu sebeple hava körüklerinin yaylanma davranışları yol uyarma sıklığına bağlı olarak non-linear bir davranış sergiler ve hava körüklerin yaylanma özellikleri basınç, hacim, etkin alan ve politropik indeksin bir fonksiyonu olarak ifade edilir (Li vd., 2011). Bir hava yayı genellikle bir üst pleyt, bir kauçuk kompozit körük, bir piston ve bir sönümleme elemanından oluşur (Turna vd., 2018). Hava yayının özellikleri, büyük ölçüde piston şekline ve kauçuk kompozit körüğün bileşimine bağlıdır. Hava körüğü, içine doldurulan basınçlı havanın yol şartlarına göre sıkışması ve genleşmesi sayesinde değişken yüklere uygun bir şekilde tepki verir. Kauçuk hava süspansiyon sisteminin en kritik bileşeni katmanlı kompozit yapıdan oluşan elastomer esaslı kompozit yapıdır. Bu kısım, hava sızdırmazlığını sağlayan bir iç kauçuk tabakası (Yazıcı vd., 2017), ana iskelet yapısı üzerindeki gerilmeleri karşılayan iki veya daha fazla tabakadan oluşan kauçuk kaplı kord bezi ve farklı çevre koşullarına karşı koruma için kullanılan bir dış kauçuk tabakadan oluşur (Zhang vd., 2015) oluşan kompozit malzemelerden yapılmıştır. Kord bezi uygulanan yükü taşıyan kısım olduğu için, katmanların sarım açısı, kord bezi kalınlığı, kord ipleri arasındaki mesafe gibi özellikler körüğün deformasyonunu, iç gerilimini ve sertliğini büyük ölçüde etkiler (Ye vd., 2018). Kompozit yapının kesit görüntüsü şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kompozit yapı katmanların gösterimi

Kord ipleri dokuma işleminden önce bükülür. Bükme ile korda belirli bir dayanım, uzama özelliği ve lastik içinde kullanımda belirli bir yorulma direnci kazandırır. Bükme yönü sağa yapılıyorsa ‘S’, sola yapılıyorsa ise ‘Z’ olarak adlandırılır (Aytaç vd., 2008). Şekil 2’de kord ipinin büküm yönleri gösterilmiştir. Büküm işlemi ile ipliklere esneme özelliği kazandırılarak, üzerine yüklenen yükü belirli miktarda dağıtma

ve yük kalktığı anda ise ilk haline dönme özelliği sağlanmaktadır.



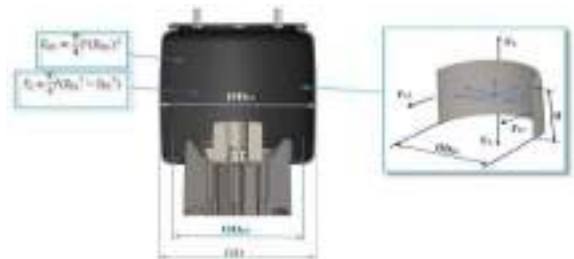
Şekil 2. Kord ipi büküm yönü şekilleri

Körükler hiperelastik malzemeden imal edilen parçalar oldukları için gerilme-gerinim (strees-strain) değerlerini analitik olarak belirlenmesi oldukça zor olan parçalardır (Lee vd., 2010), (Mars vd., 2004). Hava körüğünün yorulma ömrü, istatistiksel olarak birbirleriyle ilişkili birkaç faktörden etkilenir, ancak faktörler arasındaki ilişkiyi analitik yöntemler kullanılarak önceden belirlenmesinin zor olduğu görülmüştür (Oman vd., 2009), (Fatemi vd., 2002). Her ne kadar deneysel yöntemlerde doğruluk yüksek olsada, zaman kaybı ve yapıyı optimize etmek çok zordur (Guo vd., 2013). Son yıllarda hava körüğünü hesaplamak ve analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Hava körüğünün iç basınç değişimine bağlı olarak körüğün geometrisindeki değişimin gözlenmesi ve körüğe uygulanan mekanik test (patlatma, çap büyüme, yorulma) sonuçlarının elde edilmesi geçmiş yıllarda prototip ile sağlanmıştır (Fischer vd., 1998). Hava körüğünün istenilen değerdeki yükleri taşımasında model üzerindeki kord açısı, kord ipleri arası mesafe, kord ipinin çapı ve kompozit levha katlarından oluşan körüğün et kalınlığı etkilidir. Bu çalışmada hava süspansiyon körüklerinin statik ve dinamik yükler altındaki sönümleme özelliklerinin sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hava Körüğünün Basınca Göre Değişimi

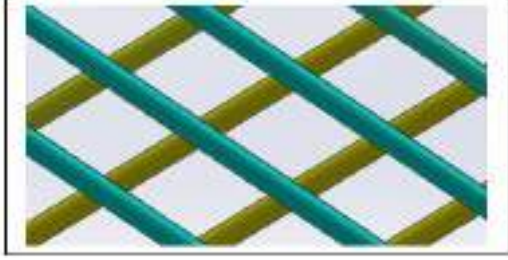
Hava körüklerinde körük iç basıncındaki değişime bağlı olarak gerilmeye maruz kalan esas yapı kauçuk ve kord bezinden meydana gelen kompozit yapıdır. Körük içindeki basınç değişimi radyal ve aksel yönde hava körüğüne etki etmektedir. Hava körüğünde etkili olan radyal ve aksel yüklenme türlerinde aksel yüklemenin büyük kısmı hava körüğünde yaylanma kuvvetini meydana getirir (Zhang vd., 2017). Aksel kuvvetin küçük bir kısmı ise körüklerin aksel bir yönde yüklenmesi sağlar. Körük yüksekliği değiştiğinde, körükte oluşan reaksiyon kuvveti, körükte meydana gelen gerilmeler ve körük iç basıncı değişmektedir.



Şekil 3. Hava körüğünde oluşan radyal ve aksel yükler

Araç üzerinde bağlanmış olan hava körüğünün çalışırken yol şartlarına anlık olarak tepki vermektedir. Değişken şartlarda oluşan titreşimi sönümleyerek daha konforlu bir sürüş ortaya

çıkartır. Kompozit yapıdaki katmanlardan kauçuk malzemesi, kord bezine göre daha esnek ve yumuşak bir malzemedir. Hava körüğünde yüklemeye bağlı olarak oluşan iç basınç değişimleri sonucu körükte yükü taşıyan yapı aslında iki katmanlı olarak bulunan kord bezleridir. İki katmanlı kord bezi tabakasındaki kord ipleri birbirine zıt açılı olarak hava körüğünün yapısında bulunur. Şekil 4'te kord iplerinin iki katman olarak zıt açılı konumlandırılması gösterilmiştir.



Şekil 4. Körükteki kord iplerinin zıt açılı konumu

Hava körüğünde, körük iç basınç durumuna göre 2 katman halinde bulunan kord iplerinin birbirleriyle yaptıkları zıt açılı değişim göstermektedir. Körük iç basıncı arttıkça kord bezleri arasındaki zıt açının değeri de artmaktadır.



Şekil 5. Hava körüğüne kuvvet uygulanması ve körükte oluşan iç basıncın gösterimi

Hava körüğünde, kuvvete bağlı olarak kuvvet basınç arasındaki ilişki; F (N) hava körüğüne etki eden kuvvet, P_r (bar) hava körüğü içindeki değişime bağlı iç basınç, A_{EF} (mm²) etkin alanı ifade etmekte olup ve hava körüğü D_{EF} (mm) çapı arasındaki ilişki denklem (1)'de gösterilmiştir (Kasim, 2012), (Xu,2020)

$$F = P_r A_{EF} = \frac{\pi}{4} P_r (D_{EF})^2 \quad (1)$$

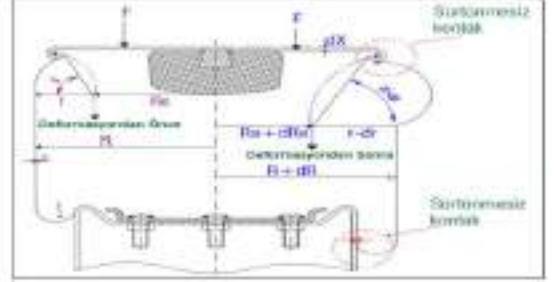
Sıkıştırılmış gazın körük içi miktarı değişmezse, yük değişikliği hava körüğünün yükseklik değişikliğine neden olacak ve bu da hava körüğünün hacminde ve basıncında değişikliklere neden olacaktır. Bu değişim sürecini ideal gaz denklemi (2) karşılar;

$$(P_r + P_a)(V)^n = (P_0 + P_a)(V)^n \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde P_a (bar) atmosfer basıncını, P₀ (bar) hava körüğünün başlangıç basıncını, V₀ hava körüğü başlangıç hacmini ifade etmektedir. V hava körüğünün herhangi bir konumdaki hacmidir. P_r (bar) herhangi bir basınçtaki hava körüğünün iç basıncıdır. n değeri ise politropik bir sabittir 1-1.4 arasında değer almaktadır.

$$K = \frac{dF}{dX} = -n (A_{EF}) \frac{(P_r + P_a)}{V} \left(\frac{dV}{dX} \right) + P_r \frac{dA_{EF}}{d} \quad (3)$$

Denklem (3)'e göre körüğe uygulanan kuvvetin körüğün deplasmanına göre türevi yay (sönümleme) katsayılarının bulunmasını analitik olarak sağlamaktadır. Denklem (3)'de dV/dX hava körüğünün hacmindeki değişimi göstermekte olup A(mm²) ise hava körüğünün etkili alan değişim oranıdır (Zhao vd.,2014).



Şekil 6. Hava körüğü iç basınç değişiminin körükte meydana gelen değişimlerin matematiksel gösterimi

2.2. Hava Körüğünün FEA Modelinin Oluşturulması

Üretim aşamasında vulkanizasyon (basınç ve sıcaklık altında kauçuk malzeme içerisinde çapraz bağların oluşması işlemi) sonucu kauçuk ve kord bezinin birbirine yapışması sağlanarak üretilen kompozit malzeme, hava körüğünde yüklemelere maruz kalan esas yapıdır. Sonuç olarak, yorulma ömrü genellikle kompozit yapıdaki körüklerin üretim prosesine ve diğer parçalarla olan etkileşimine bağlıdır. İç basınç değerine göre gerilme değerlerini analitik yöntemlerle belirlemek oldukça zordur, çünkü körükte basınç artmasını sağlayan hava ve kompozit tabakalardan hiperelastik yapıdaki kauçuk nedeniyle analitik hesaplama yapmak zorlaşmaktadır. Bu nedenle körük üzerindeki değişimleri değerlendirmek ve belirlemek için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Hava körüğünün üzerine etki eden statik ve dinamik kuvvetlerin körük üzerinde oluşturduğu etkiyi daha iyi inceleyebilmek için ABAQUS 6.14 programı yardımıyla hava körüğünü sonlu elemanlar analizine tabii tutarak körüğün üzerindeki gerilme değerleri daha net gözlemlenmiştir. Hava körüğünün basınç ve yükseklik değişimine bağlı olarak yaptığı harekette körükte meydana gelen kuvvet, basınç ve deplasman değişimlerinin daha net bir şekilde gözlemlenmek mümkün olmaktadır. Kauçuk yapısı itibarıyla esnek bir yapıya sahip olan hiperelastik bir malzeme olarak kabul görür. Hava körüğünün iç basınç değerinin değişimini sağlayan hava, analiz sırasında sıkıştırılabilir malzeme olarak tanımlanır. Körük içinde havanın sıkışabilir olması ve kauçuğun hiperelastik malzeme olması kompozit yapının hareketinin doğrusal olmamasına sebep olur bu durumda analiz sırasında körükte oluşacak değişim hakkında tahminleri zorlaştırmaktadır. Sonlu elemanlar modelini hava körüğüne uygulayıp doğrusal olmayan bir analiz gerçekleştirerek hareketleri daha net gözlemlenmek mümkün olmaktadır (Chen vd., 1994), (Sarıoğlu vd, 2019). Çalışmamızda kamyon, çekici vb. araçlarda çok fazla kullanılan metal pistonlu hava körüğü modeli tercih edilmiştir. Hava körüğü modelleme işleminde sadece üst pleyt, alt piston ve kompozit kısımdan meydana gelen kısımlarının modellenmesi gerçekleştirildi, bu üç parçanın modellenmesi ile körük bütünlüğü sağlanmaktadır. Sonlu elemanlar analizinde model

üzerinde bulunan pleyt ve alt kısımda bulunan piston rijit parça olarak kabul edildi. Hava körüğünün analizi farklı kılan bir başka durumda körükteki kauçuğun hiperelastik malzeme olmasıdır. Hiperelastik bir malzemenin mekanik özelliklerinin tanımlanması metalik malzemelerden oldukça farklıdır. Hiperelastik malzemenin mekanik özellikleri Mooney Rivlin modeline göre belirlenmiştir (Jamshidi vd., 2006). Hiperelastik bir malzeme için gerinin enerji yoğunluğu fonksiyonu U denklem (4)'de belirtilmiştir.

$$U = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + \frac{1}{D} (J^{el} - 1)^2 \quad (4)$$

Denklem 4'te bulunan C_{10} , C_{01} ve D değerleri malzemenin test edilmesiyle elde edilen süper elastik malzeme sabitleridir. J_{e1} elastik hacimsel oranıdır, I_1 denklem (5) ve I_2 denklem (6) birinci ve ikinci gerinin (strain) değişmezleri değerleridir.

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad (5)$$

$$I_2 = (\lambda_1\lambda_2)^2 + (\lambda_2\lambda_3)^2 + (\lambda_1\lambda_3)^2 \quad (6)$$

Denklem (5) ve denklem (6)'de λ_1 , λ_2 ve λ_3 üç yöndeki gerilme katsayılarıdır. Hava körüğünün modelini oluşturan kompozit yapının içinde polyamid 66 ile yapılan kord bezi bulunduğundan, kord bezleri kauçuk içine gömülmüş halde bulunur (Wenku vd.,2009). Kord katmanı yapısındaki inşaat demiri ünitesi, hava körüğü kompozit malzemesini oluşturmak için kauçuk kabuk modeline gömülür (Shahzad vd., 2015). Çalışmamızda hava körüğü simülasyonun'da, kord takviyeli yapı inşaat demiri modeli olarak kabul edildi. Hava körüğünde kauçuk içine gömülü olan naylon fiber kord, kauçuk malzemesinin mekanik özelliklerini arttırmaktadır. Kauçuk ve kordun mekanik parametreleri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hava körüğü yapısal özellikleri

Parametre	Değer	Birim
Kord bezi katman sayısı	2	-
Kompozit parça kalınlığı	5	mm
1.kord bezi açısı	45	°
2.kord bezi açısı	-45	°
Kord ipleri arası mesafe	0.39688	mm
Bar başına alan	0.049	mm ²

Körük içi yüksek basınçlarda hava körüğü sertleşir ve fazla sıkıştırılamaz. Körük içindeki havanın sıkışabilirliği nedeniyle oluşan yükte bir artış ile dikey yönde muazzam bir sapma olduğu açıkça görülebilir. Sıkıştırılmış kauçuk körükte yer değiştirmeyi kısıtlayabilir, sıkıştırılabilir hava körüğün deforme olmasına izin verir. Bu nedenle, belirli bir yük için, havalı süspansiyon sistemlerinde oluşması istenmeyen performanslardan kaçınmak için uygun körük iç basıncı yeterli miktarda sağlanmalıdır. Hava körüğü modelinin CAD dosyası bilgisayarda Solidworks programında yüzey modelleme olarak oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar analizi için kullanılacak hava körüğü modeli çizilirken tamamen açık halde yani piston tabanı ve üst bağlantı parçası yüzeyi arası mesafenin H=650 mm yükseklikte çizimi gerçekleştirilmiştir. Hava körüğünün oluşturulan parçaları için gerekli olan malzeme özelliklerinin programa veri olarak girilmesi gerekmektedir. Analiz için gerekli olan malzeme özellikleri tablo 2'de detaylı olarak verilmiştir. Hava körüğü kısa sürede sıkıştırıldığından ve kısa

sürede genişlediğinden körükten dışarıya ısı transferi yoktur. Sistemin çalışması adyabatik olarak kabul edilir. Hava körüğünün çalışması sırasında, körük piston üzerinde hareket eder. Bir hava körüğünün mekanik davranışı sadece geometrik doğrusallık ve malzeme doğrusallığını değil, aynı zamanda sınır koşullarının doğrusallığını da kapsar. Polyamid66 fiber kord takviyeli kauçuk kompozit, elastik, ortotropik ve homojen bir malzeme olarak kabul edilebilir.

Tablo2.Hava körüğü analizi için malzeme özellikleri

Malzeme	Değer	Birim
Kord ipi		
Elastisite modülü	4640	MPa
Poisson oranı	0.3	
Yoğunluk	1.16x10 ⁻⁹	T/mm ³
Kauçuk		
C_{10}	0.48485	
C_{01}	0	
D	0	
Hava		
Gaz sabiti (R)	6.34x10 ³	Kj/kgK
Sıcaklık (T)	-273.15+25	K
Havanın ağırlığı	0.044	

Hava körüğü silindirik yapıdadır ve körükte kıvrımların etkisi göz ardı edilir ancak bu durumun sonuçları üzerinde etkisi mevcuttur. Bir aktif veya uyarlanabilir havalı süspansiyon sistemi tasarlanırken, süspansiyonun analitik modeli, belirli bir uygulama için etkili kontrolörlerin tasarlanmasında önemli bir rol oynar. Hava körüğü analizinde, körük içindeki hava basıncı, körüğün hacminin yüksekliğe göre değişimi ve hiperelastik kauçuk malzemenin özellikleri önemli etkenlerdir. Yapmış olduğumuz analizde hava körüğünün kompozit kısmında meydana gelen gerilme, deplasman ve kuvvet değerlerini gözlemlemektir. Malzeme tanımlaması yapılırken hava körüğünü körük kısmını oluşturan malzemelerin tanımlaması FEA (sonlu elemanlar analizi) analiz programına veri girişi gerçekleştirilmiştir. İlgili yazılımda kauçuk için malzeme özellikleri Mooney Rivlin metoduna göre oluşturulmuştur. Kord bezinin elastik yapıda olmasının avantajı körük üzerinde yük ve basınç kalktığı zaman körüğün tekrar ilk haline dönmesini sağlar ve bu durum sayesinde hem körük yapısı bozulmaz hem de körük dayanıklılık kazanır. Hava körüğü içindeki sıkıştırılabilir havanın tanımlamasını yaparken havanın ağırlığı ve atmosfer basıncı değerlerinin FEA programına veri olarak girilmiştir. Hava için gerekli olan diğer parametreler ise mutlak sıfır sıcaklığı ve gaz sabiti değeridir. Hava körüğünde altta bulunan piston sabit olup piston her yönüyle hareketi kısıtlanıp ankastre olarak sabitlenir. Üst kısımda bulunan pleyt parçası sadece y doğrultusunda yani düşey doğrultuda hareket edebilen ve körük içi basınç değerine göre hareket mesafesi değişebilen yapıdır. Hareket kısıtlama konusunda asıl önemli olan kompozit malzemenin hareket kısıtlamalarını belirlemektir. Doğru tanımlamalar yapıldığı takdirde körük içi basınç değerine bağlı olarak körüğün analizi hakkında daha net bilgiler almak mümkün olacaktır. Körüğün kompozit kısmının hareket kısıtlamalarını belirlerken körüğün basınç ve yüklemeye bağlı olarak düşey doğrultuda hareketi sırasında, körüğün özellikle altta bulunan kıvrımlarının basınca bağlı dönme ve öteleme yaparak hareketi sağlaması gerekir. Bu sağladığı hareket sonucunda piston üzerinde sıvama hareketini yapması

gerekmektedir. Analiz sırasında; deneysel olarak tahmin edilmesi güç olan çalışmalar sonlu elemanlar yardımı ile daha kolay gözlenebilmektedir. Bu amaçla körük üzerinde gerekli eleman ayrımı yapılarak mesh yapısı oluşturulmuştur. Burada amaç bir diferansiyel denklemin çözümünü kolaylaştırmaktır. Bundan dolayı sonlu elemanlar yönteminde elde edilecek sonuçların yaklaşım doğruluğu, ağ içerisinde kullanılan eleman tipine ve eleman sayısına bağlıdır. Eleman sayısı artırılarak, eleman tipi değiştirilerek, mesh üretim yöntemi değiştirilerek veya mesh boyutları üzerinde oynanarak çözüm tekrarlanabilir.

2.2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda kullanılan metal pistonlu hava süspansiyon körüğü, kamyon ve çekicilerde kullanılmaktadır. Testler ve FEA çalışmaları için ürünün kullanıldığı araç ve tasarımların çalışmalara başlanmadan önce üretici firmadan alınmıştır. Test şartları ilgili bilgiler üretici firmadan temin edilmiştir. Testlerde, özel bir test makinası kullanılarak, körük üst bağlantı pleyti, test makinesinin hareketli plakasına, piston tabanı sabit plakaya tutturulmuş ve sadece dikey yönde hareket etmesine izin verilmiştir. Körük testleri için gerekli deplasman değerleri, minimum ve maksimum çalışma aralığında elli milimetre artışlar ile beş farklı deplasman değerine bölünmüştür. Körük içerisindeki hava basıncı başlangıçta sıfır bardır ve test makinesinin başlangıç yüksekliği 650 mm olarak ayarlanmıştır. Deneysel analiz çalışmalarında hava yayı otomatik olarak belirlenen çalışma yüksekliklerine getirilerek farklı basınç değerleri (1, 2, 3, 4 ve 5 bar) için testler yapılmıştır. Körüklerin içerisine gönderilen hava basıncı kararlı bir hale gelmeden ölçümler başlamamıştır. Beş farklı yükseklik için hava yaylarına 1 ile 5 bar arası basınçlı hava gönderilmiş ve düşey reaksiyon kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen reaksiyon kuvvetine ve uygulanan yer değiştirme miktarına bağlı olarak düşey yönde oluşan yay katsayısı bulunmuştur. Tablo 3, körüğe ait deneysel çalışmalardan elde edilen reaksiyon kuvveti değerlerini göstermektedir. Gazın sıkışması sonucu basınç ve reaksiyon kuvvetleri artar. Elde edilen kuvvet değerleri Kilo-Newton (kN) olarak gösterilmiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışmalardan elde edilen reaksiyon kuvveti değerleri

Basınç (bar)	Deplasman değerleri (mm)				
	50	100	150	200	250
1	3.16	4.21	5.06	5.54	5.67
2	2.42	6.64	9.42	11.05	11.23
3	4.26	10.27	14.10	16.07	18.41
4	5.21	13.50	18.51	21.75	23.24
5	6.17	15.25	24.84	30.74	29.55

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Statik sönümlenme özelliklerinin Fea ile incelenmesi

Statik analiz, bir yapının üzerindeki yükü veya dışarıdan gelen herhangi bir etkinin yapıda meydana getirdiği değişimin (deplasman, gerilme, moment etkisi) güvenli olup olmadığını hakkında bilgi almamızı sağlayan analiz türüdür. Mühendislikte hemen hemen her konuda statik analiz kullanılmaktadır. Çalışmamızda ağır ticari araçlarda kullanılan hava körüğünün statik sönümlenme özelliğinin sonlu elemanlar modelinde

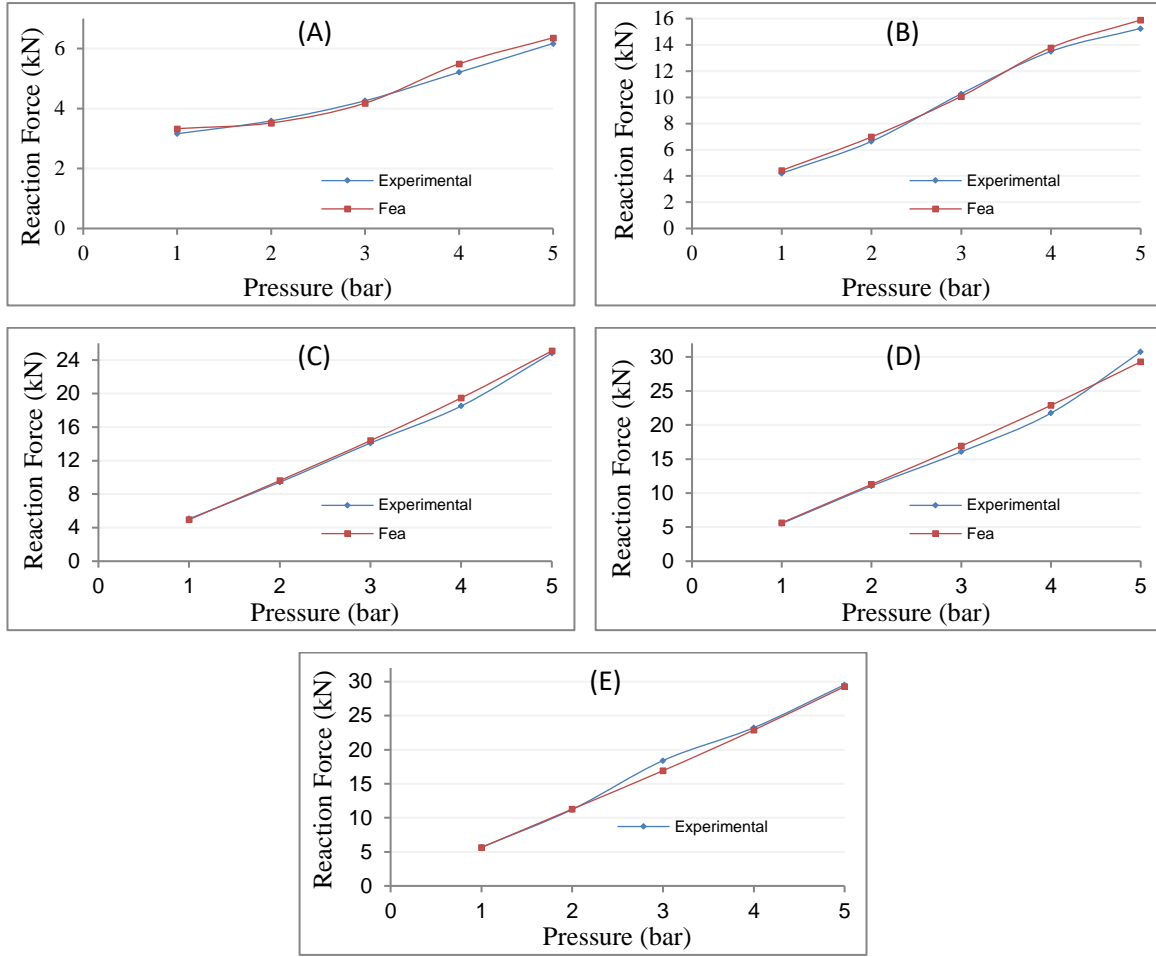
incelemesini gerçekleştirilmiştir. Belirli yüksekliklerde ve farklı iç basınç (1, 2, 3, 4 ve 5 bar) değerlerinde hava körüğünde meydana gelen gerilme, çap büyümesi, reaksiyon kuvveti, yaylanma özellikleri vb. veriler elde etmeyi amaçlanmıştır. FEA modeli sınır koşullarının tanımını, hava yayına ait pistonunun alt tabanından sabitlenerek ve serbestlik derecesi sıfıra ayarlanmıştır. Körüğe ait üst bağlantı plakası sadece dikey yönde hareket edecek şekilde tanımlanmış ve serbestlik derecesi bir olarak ayarlanmıştır. Hava körüğü içerisine ilgili basınç değerine uygun hava verilerle çalışma durumuna ayarlanır. Üst bağlantı plakasının (şase) dikey yer değiştirme parametresi gerçek araç koşullarına uygun olacak şekilde kullanılarak, hava körüğünün dikey hareket mesafesi ayarlanır. FEA analizi; hava yayını belirtilen basınç değerlerine şişirmek, dikey yönde hareketi tanımlamak ve belirtilen deplasman değerine uygun bir şekilde sıkıştırmak şeklinde üç adım olacak şekilde tanımlanmıştır. Statik analiz sırasında hava körüğü başlangıç olarak H=650 (mm) yükseklikindedir. Hava körüğüne farklı iç basınç (1,2,3,4 ve 5 bar) değerleri ve farklı deplasmanlar (50, 100, 150, 200 ve 250 mm) uygulanmıştır. Böylece, analiz edilen körük üzerinde farklı iç basınç ve yer değiştirmelere bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin neden olduğu yük dalgalanmaları sonucunda dikey rijitlik performansları ve reaksiyon kuvveti değerleri belirlenmiştir. Fea analizi sonucunda düşey yönde oluşan reaksiyon kuvveti değerleri tablo 4' de gösterilmiştir. Elde edilen kuvvet değerleri Kilo-Newton (kN) olarak gösterilmiştir. Hava yayının deplasmana bağlı olarak sıkışma miktarı arttıkça içeride hapsolmuş gazın basıncı nedeniyle reaksiyon kuvvetleride artmıştır.

Tablo 4. Hava körüğü analizi için gerekli olan malzeme özellikleri

Basınç (bar)	Deplasman değerleri (mm)				
	50	100	150	200	250
1	3.33	4.43	4.96	5.65	5.78
2	2.49	6.98	9.62	11.28	11.82
3	4.18	10.07	14.39	16.92	18.05
4	5.49	13.78	19.48	22.89	24.46
5	6.36	15.89	25.09	29.28	31.10

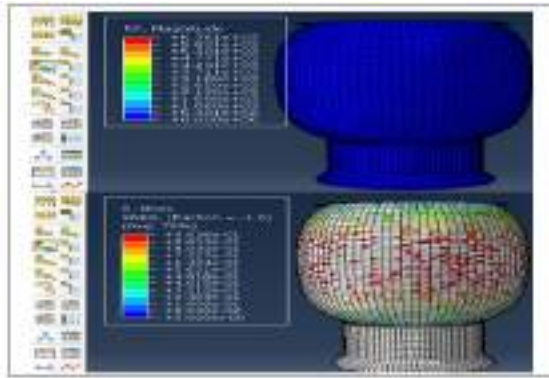
Dikey sıkıştırma miktarına göre, FEA ve deneysel çalışmalardan elde edilen reaksiyon kuvveti değerlerinin değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 7'de gösterilmiştir. İki çalışma arasında yaklaşık %4 civarında bir sapma değeri çalışmanın güvenilirliği açısından önemlidir.

FEA ve deneysel çalışmalarda elde edilen reaksiyon kuvvetlerini değerlendirdiğimizde, 650 mm montaj yüksekliğinde elde edilen reaksiyon kuvveti değerleri daha düşüktür. Kord-kauçuk kompozit yapısı piston ile daha az etkileşime girer, yanal ve yukarı doğru uzama özgürlüğüne sahiptir. Sıkışma başladığında körük ile piston arasındaki etkileşime bağlı reaksiyon kuvveti artış gösterir. Körükteki basınç artışı, körükteki gerilme değerlerini de artırır. Kauçuk kompozit yapı hiperelastik olduğu için gerilme değerlerinde meydana gelen değişikliklere direnir. Kord ipleri, kauçuk malzemeye göre yüksek stres değerlerinden daha fazla etkilenir. Hava körüğünde 5 bar basınç altında meydana gelen reaksiyon kuvveti ve gerilme değerlerine ait analiz sonuçları, 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm ve 250 mm deplasman değerleri için elde edilmiştir.



Şekil 7. FEA ve Deneysel Çalışma Reaksiyon Kuvveti Karşılaştırma Grafikleri: (A) 50 mm, (B) 100 mm, (C) 150 mm, (D) 200 mm, (E) 250 mm

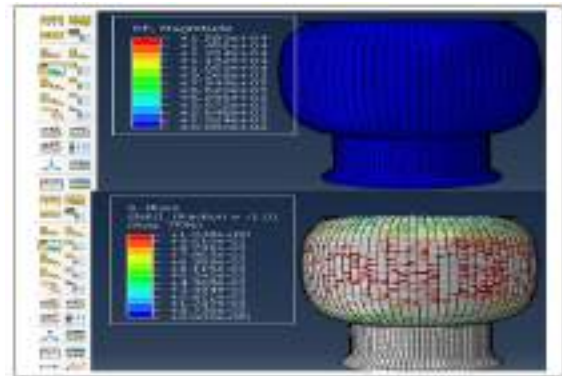
Şekil 8'de 50 mm'lik deplasman sonucunda oluşan reaksiyon kuvvetleri ve gerilme değerlerine ait FEA sonuçları gösterilmiştir. Özellikle hava körüğünün kompozit kauçuk kısmının orta bölgesinde gerilme yığılmaları artmaktadır. Bu bölgede kauçuk kompozit yapı yanlara ve yukarı doğru zorlanarak hareket etmektedir.



Şekil 8. 50 mm deplasmana bağlı olarak oluşan reaksiyon kuvveti ve gerilme değerleri

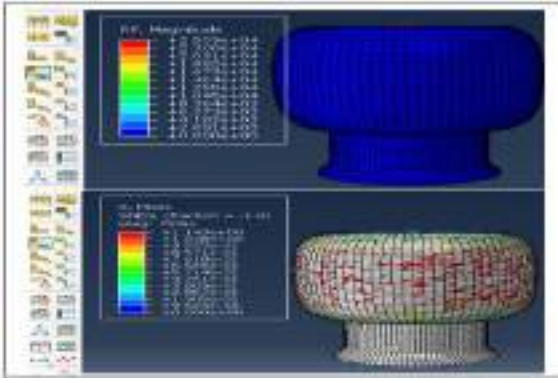
Kompozit yapıda en fazla gerilmeye maruz kalan kısımda kord ipleri daha fazla zorlanmaya maruz kalmaktadır. Kord bezi üzerine vulkanize olan iç ve dış kauçuk, tek bir yapı gibi birlikte hareket ederek oluşan gerilmeleri karşılarlar. Ana taşıyıcı kord bezi olduğu için, sarım açısı, katmanların birbirine Basınç arttıkça katmanlar arasındaki hareketlilikten dolayı, kord ipleri birbirinden ayrılmaya zorlanmaktadır. Körüğün hareketi

göre konumu ve proses şartları basınç altındaki zorlanmalarda oldukça önemlidir. Şekil 9, şekil 10, şekil 11, şekil 12'de deplasmana bağlı reaksiyon kuvvetleri ve gerilme değerlerini gösteren sonuçlara verilmiştir. Hava körüğünün metal üst bağlantı plakası ile piston üzerinde hareket eden kısımdaki hareket serbestliği körüğün dış çap kısmına göre daha azdır. Hareketleri belirli yönlerde sınırlandırılmıştır. Özellikle kompozit kauçuk yapının orta bölgesinde alanda yapı daha serbet hareket ederken, daha fazla gerilmeye maruz kalır. Bu bölgede kauçuk kompozit yapı yanlara ve yukarı doğru serest hareket etmektedir.

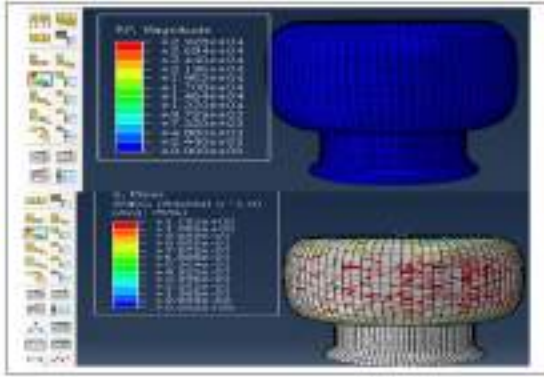


Şekil 9. 100 mm deplasmana bağlı olarak oluşan reaksiyon kuvveti ve gerilme değerleri

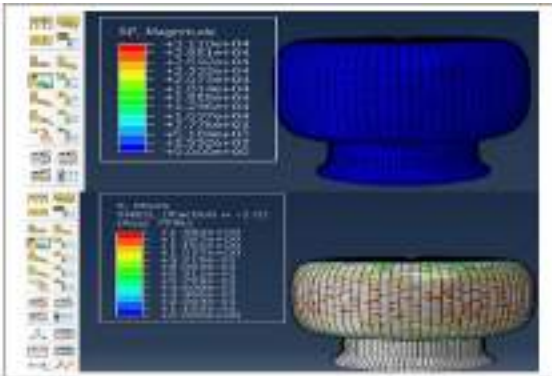
esnasında kord iplerinin hem birbirleri ile hemde kauçuk ile sürtünmesinden dolayı sıcaklığında arttırmaktadır.



Şekil 10. 150 mm deplasmana bağlı olarak oluşan reaksiyon kuvveti ve gerilme değerleri



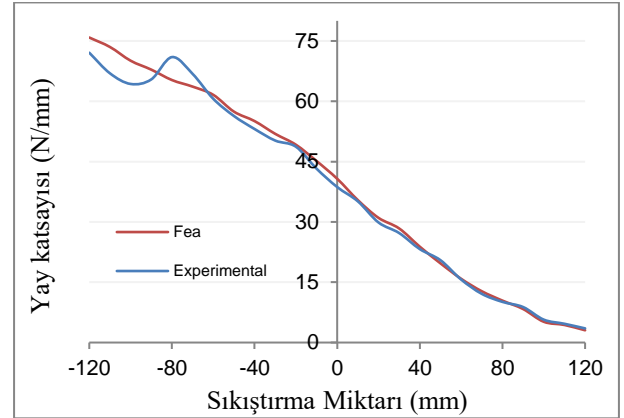
Şekil 11. 200 mm deplasmana bağlı olarak oluşan reaksiyon kuvveti ve gerilme değerleri



Şekil 12. 250 mm deplasmana bağlı olarak oluşan reaksiyon kuvveti ve gerilme değerleri

Denklem (3) kullanılarak hem FEA ile hemde deneysel olarak hava körüğünün yay(sönümleme) katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Kamyon ve çekicilerin süspansiyon sisteminde kullanılan hava körüklerinin tasarım özellikleri (dayanıklılık, tepki kuvvetleri, yer değiştirmeler vb.) FEA analizi ile belirlenmiştir. Deneysel saha testleri ile analiz sonuçları arasında %4'ün altındaki sapma elde edilmiştir. Körükler şasi ve araç altında dingile monte edilerek çalışır. İç basınç ve sıkıştırma oranları, çalışma sırasındaki yük ve yol koşullarına göre değişir. Körüklerin sönümleme özellikleri, sertliği ve frekansı, iç basınca ve yer değiştirmeye bağlıdır (Eskandary vd., 2016). Aracın yükleme ve yol koşullarına bağlı olarak, körük iç basıncında sürekli değişiklikler olur ve bu değişiklikler reaksiyon kuvvetlerini oluşturur. Yapılan çalışmada, aracın yük durumu ve hareket halinde olmaması dikkate alınarak, farklı yüksekliklerde ve iç basınçlarda yapılan testlere bağlı olarak yay katsayıları (rijitlik) elde edilmiştir. Körüklerin yaylanma özelliklerinin

analitik çözümlerle belirlenmesi, tasarım sürecine büyük katkı sağlar. Hava körüğünün yay(sönümleme) katsayısı değerleri hem deneysel hemde FEA çalışması ile 5 bar'a ait yay katsayı değerleri elde edilerek şekil 13' de gösterilmiştir. Elde edilen değerler N/mm'dir.



Şekil 13. Hava körüğünün yay katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Deneysel ve analitik çalışmaların yaylanma özelliklerinde özellikle açılma sırasında farklılıklar gözlenmiştir. Minimum yükseklığe geldikten yaklaşık 50 mm geri gelene kadar %10 civarında sapma görülmüş, sonrasında bu oran yaklaşık %6 olarak elde edilmiştir. Kord ipleri arasındaki gerilme sıkışma anında daha fazla artmıştır. Başlangıç pozisyonun agelmeye başladığı anda korbezine vulkanize kauçuk hareketlenmiştir. Bu bölgede oluşan sapmanı sebebi olarak değerlendirilir.

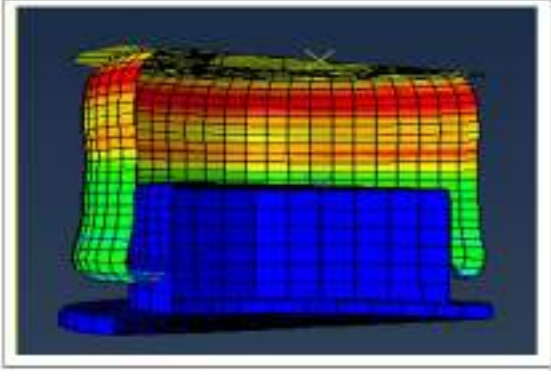
3.2. Dinamik sönümleme özelliklerinin Fea ile incelenmesi

Dinamik analiz, zamana bağlı olarak yüklerin analizi, rastsal titreşimlerin analizi, harmonik yüklemelerin analizi ve pik/şok yüklemelerin analizi gibi alanları kapsamaktadır. Örneğin bir yapısal sistemin belirli frekans aralığına sahip titreşime nasıl yapısal cevap verdiği bu alana girmektedir. Hava körüğüne uygulayacağımız dinamik analizde hareket halindeki aracın kasisten geçmesi anını düşünerek milisaniye gibi kısa bir zaman diliminde körük üzerine belirli bir yükün yüklenmesi ve körüğün bu yüklemeye karşı oluşturacağı tepki kuvveti, deplasman değeri ve deformasyon yapısını incelenmiştir. Daha detaylı bir örnek verecek olursa 8 (ton) bir aracın kasisten geçme anında 0.1 (milisaniye) gibi kısa sürede 6000 (mm/s) hızla beraber araç ağırlığının 1/4 'ünün araçtaki bir adet hava körüğü üzerine yüklenmesi durumunun analizi gerçekleştirildi. Tablo 5'te hava körüğünün başlangıç değerleri verilmiş olup dinamik analizde farklı iç basınç (1, 2, 3, 4 ve 5 bar) değerlerinde gerçekleştirildi.

Tablo 5. Dinamik analiz için hava körüğü başlangıç değerleri

Yükseklik (mm)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Yük (kN)	Zaman (ms)
334	265	5	2	0.1

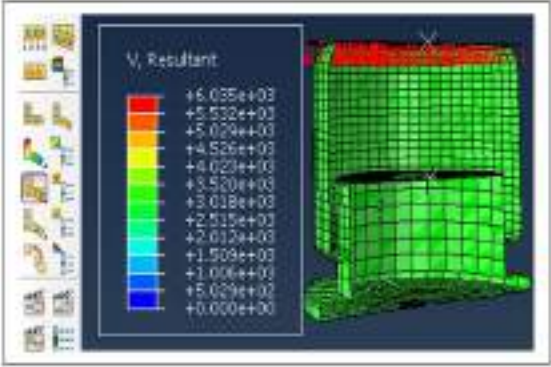
Tablo 5'te belirtilen özellikler ile farklı basınç değerlerinde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda hava körüğünde anlık olarak deformasyonlar meydana gelmiştir.



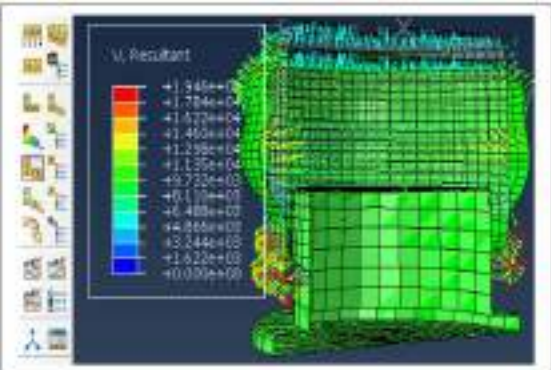
Şekil 15. Dinamik analiz sonucu deformasyona uğramış hava körüğü görünümü

Hava körüğünün en düşük 1 bar ve en yüksek 5 bar iç basınçtaki dinamik analiz sonuçlarını detaylıca değerlendirerek körüğün karakteristik davranışı belirlenmiştir.

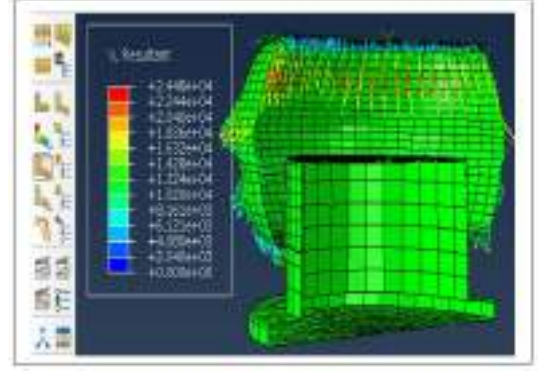
1 bar basınçta hava körüğü üzerinde yük binmesinden önce ve körüğün üzerine ani bir şekilde kuvvetin uygulanması sonucu oluşan deformasyondaki hareketin vektörel gösterimi şekil 16, şekil 17 ve şekil 18'de aşamalı olarak gösterilmiştir. Hava körüğünün analizi doğrusal olmadığı için hava körüğünün kompozit kısmındaki hareket doğrusal şekilde olmamaktadır. Sonlu elemanlar analizi sayesinde doğrusal olmayan harekete bağlı olarak körüğün sönümlenme anındaki hareketi hakkında daha fazla bilgiye sahip olabiliriz.



Şekil 16. Körük başlangıç hareketinin vektörel gösterimi (1 bar)

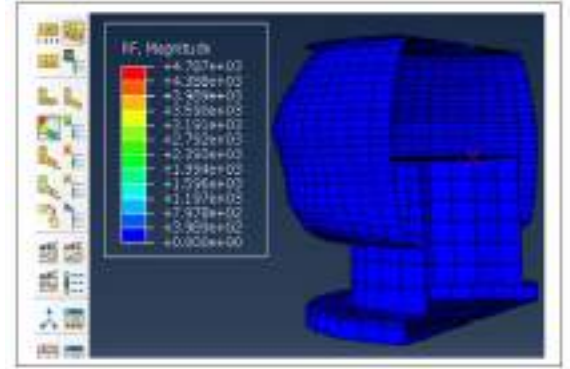


Şekil 17. Ani yükleme durumunun vektörel gösterimi (1 bar)



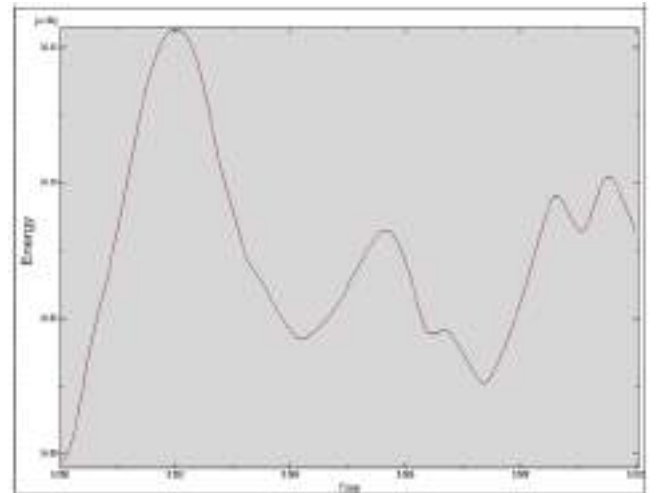
Şekil 18. Oluşan deformasyonun vektörel gösterimi (1 bar)

Hava körüğünün 1 bar iç basınç değerinde bulunurken üzerinde uygulanan ani yüklemeye karşısında hava körüğünde oluşan reaksiyon kuvveti şekil 19'da gösterilmiştir. Şekilsel olarak belirgin deformasyon kauçuk kompozit yapının orta bölgelerinde meydana gelmiştir. En zayıf bölge olarak değerlendirilmesi doğru değildir, sadece diğer bölgelere göre daha fazla hareket serbestliğine sahiptir.



Şekil 19. 1 bar iç basınçta oluşan reaksiyon kuvveti ve deformasyon

1 Bar iç basınca sahip körük üzerine etki eden yüke bağlı olarak oluşan kinetik enerji değişimi şekil 20'de gösterilmiştir. Kinetik enerjideki değişim megajoule (MJ), zaman saniye (s) birimi ile gösterilmiştir.

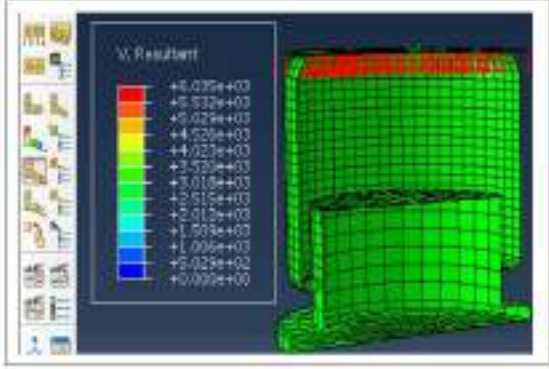


Şekil 20. 1 bar basınçta hava körüğünün kinetik enerji değişim grafiği

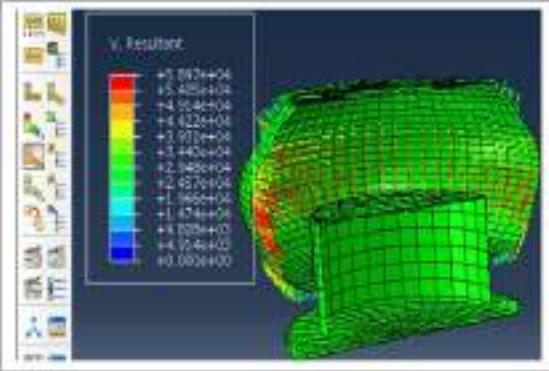
20 kN'luk yükün, 0.1 ms gibi kısa sürede hava körüğüne etki etmesi ile 0.02 s'lik bir sürede 16.17 MJ'luk bir enerji açığa

çıkıştır. Körük üzerindeki ani yüklemeye ile sıkışan hava ve kompozit malzemenin elastik davranışı yardımıyla açığa çıkan enerji miktarı hızla azalmıştır.

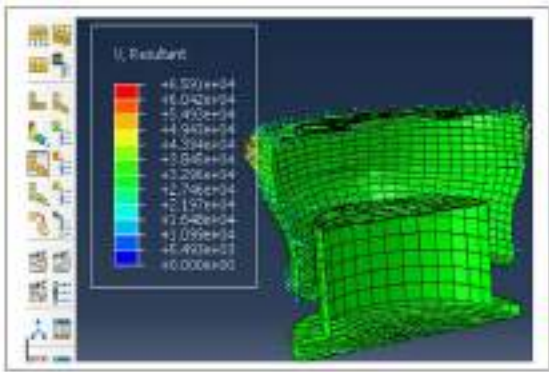
5 bar iç basınç değeri altında hava körüğünün yapısında meydana gelen yer değiştirme sonuçları vektörel olarak sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 21. Körük başlangıç hareketinin vektörel gösterimi (5 bar)

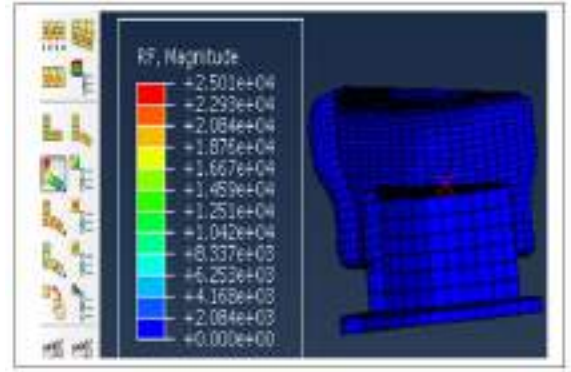


Şekil 22. Ani yüklemeye durumunun vektörel gösterimi (5 bar)



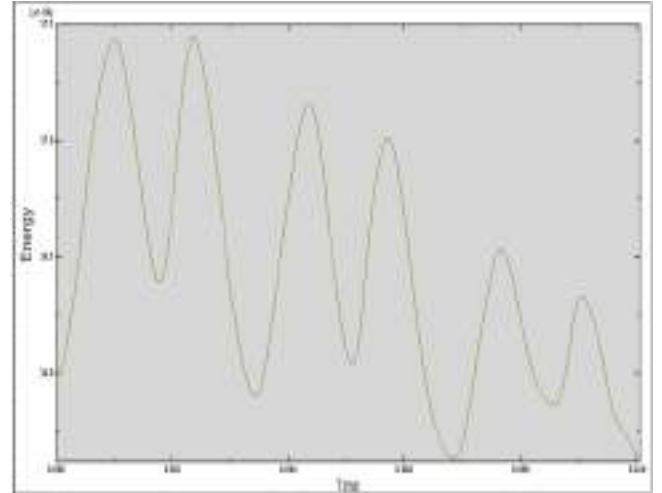
Şekil 23. Oluşan deformasyonun vektörel gösterimi (5 bar)

Hareket doğrusal olmadığı için 1 bar ve 5 bardaki hareket vektörlerinin aynı zaman dilimindeki yönleri birbirinden farklıdır. Hava körüğünde 5 bar basınçtaki dinamik analiz sonucu oluşan reaksiyon kuvveti değeri aşağıdaki şekil 24'te gösterilmiştir. Körük içi basınç değeri yüksek olduğu için hava körüğünde meydana gelen reaksiyon kuvvet değeri de 1 barlık basınca göre daha yüksektir.



Şekil 24. 5 bar iç basınçta oluşan reaksiyon kuvveti ve deformasyonu

Hava körüğü yüksek sönümlenme özelliği sayesinde ani yüklemeler karşı yükü yavaşlatmakta ve yoldan araca etki eden hareketleri sönümleyerek daha konforlu sürüş sağlamaktadır. Aşağıdaki grafikte 5 bar basınca sahip olan hava körüğünün 20 kN'luk ve 0.1 ms gibi kısa sürede 6000 mm/s hızla hava körüğüne etki eden yükün hava körüğünün sönümlenme özelliği ile modeldeki kinetik enerji (MJ)-zaman (s) değişimi şekil 25'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 25. 5 bar basınçta hava körüğünün kinetik enerji değişim grafiği

Körük üzerine uygulanan ani yüklemeler karşısında hava körüğünde oluşan reaksiyon kuvveti değerleri tablo 6'da verilmiştir. Farklı iç basınçlarda (1, 2, 3, 4 ve 5 bar) 6000 mm/s hızla ile yapılan ani yüklemeye sonucu düşey yönde (Y yönünde) oluşan reaksiyon kuvvetleri incelendiğinde körük içi basınç değeri artışına bağlı olarak düşey yöndeki reaksiyon kuvveti de yükselmektedir. Dinamik testler 90 mm deplasman değerine göre gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6: Dinamik analiz sonucu elde edilen reaksiyon kuvveti değerleri

Basınç (bar)	Reaksiyon Kuvveti (kN)
1	4.79
2	10.85
3	13.70
4	18.05
5	25.01

Hava körüklerine uygulanan dinamik analiz sonucu elde edilen veriler incelendiğinde, körüklerin metal yaylardan daha iyi sönümlenme özelliğine sahip olan otomotiv parçaları olduğu gözükmektedir. Hava körükleri yaylardan daha konforlu sürüş sağlamakta ve araç yüksekliğini sürüş şekline göre ayarlayabilmektedir bu sayede araçlarda özel donanım olarak bulunabilmektedir. Sonlu elemanlar analizi ile elde edilen düşey yöndeki reaksiyon kuvveti (F) ve dinamik yay katsayısı değerleri tablo 7’de verilmiştir. Reaksiyon kuvveti değeri arttıkça yay katsayısının değeri de artmaktadır.

Tablo 7: Dinamik analiz sonucu elde edilen yay katsayısı değerleri

Basınç (bar)	Yay Katsayısı (N/mm)
1	79.87
2	180.56
3	228.3
4	300.83
5	416.83

Elde edilen sonuçlar arasındaki yakınlık, hava körüğünün minimum ve maksimum çalışma yüksekliği arasında birçok testin yapılmış olmasına ve malzeme özelliklerinin çok iyi tanımlanmış olmasına bağlıdır. FEA analizinin havalı yay analizinde etkin bir şekilde kullanılabileceği çalışmalardan görülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada hem deneysel hem de sonlu eleman analiz modelleri sayesinde kauçuk kompozit yapıdan oluşan hava körüğünün statik yükler ve anlık yükleme durumundaki sönümlenme davranışı hakkında aşağıdaki bilgiler elde edildi:

1. Hava körüğünün 5 bar basınç altında statik olarak yapılan deneysel ve FEA çalışmalarından elde edilen yay sabitleri arasında ortalama %6’lık bir sapma meydana gelmiştir. Ancak hava körüğünün sıkışması ve geri gelerek açılması anında farklılıklar gözlenmiştir. Hava körüğü geri gelme hareketine bağladığı andan yaklaşık 50 mm lik bir mesafede yaylanma oranındaki sapma yaklaşık %10 civarındadır. Statik durumda birbirine yakın değerler elde edilmesi tasarım sürecince Fea çalışmalarından güvenli bir şekilde tanımlanabileceğini göstermiştir.
2. Hava körüğünün dinamik anlık yükleme durumları için yapılan deneysel ve FEA çalışmaları arasındaki sapma miktarı %4 civarında olması, basınca ve yüklemeye bağlı reaksiyon kuvvetlerinden dolayı oluşan parametrelerin tahmin edilmesi için kolaylık sağlamıştır.
3. Abaqus programında sonlu elemanlar analizinin yardımı ile modellenmiş olan hava körüğünün sönümlenme sırasındaki hareketi, reaksiyon kuvveti, körükte meydana gelen diğer değişimler rahatlıkla gözlenmiştir. Hava körüğünün sönümlenme özelliği hakkında bilgi edinilmiştir.
4. Hava körüğünü oluşturan kompozit yapıya ait malzeme özelliklerinin doğru yapılmış deneylerden elde edilmiş olması sapma miktarını azaltmıştır.
5. Hava körüğünün çalışması esnasında içerisindeki basınçlı havanın malzeme özelliklerinin Fea programına tanımlanması analiz güvenilirliliğini arttırmıştır. FEA çalışması için iç basıncı oluşturan havanın atmosferik

6. FEA çalışması sayesinde, hava yayındaki bölgesel gerilme, kuvvet ve yer değiştirme gibi değerlerle ilgili daha fazla sonuç elde edilebilir.
7. Çalışmamızda kauçuk kompozit yapıdaki kord bezlerinin kauçuk malzemeye göre aşırı gerilmelerden daha fazla etkilendiği görülmüştür. Kord lifleri, basınç artışı durumunda körüğün aşırı genişlemesini sınırlar ve körüğün darbesinden kaynaklanan yükleri taşıyan ana unsurdur.
8. Deneysel ve fea çalışmalarında oluşan sapmaların sebebi olarak prototip üretim sürecinde oluşabilecek hatalardan olarak değerlendirilmiştir.
9. Elde edilen veriler doğrultusunda gelecekte yapılması planan çalışmalarda, hava körüklerinin modellenmesi, kord bezinin sarım açısının değişmesi, kompozit malzeme kalınlığının değişmesi vb. durumlardaki deneysel sonuçları, sonlu elemanlar analizi ile daha hızlı bir şekilde elde edebilir ve model üzerinde meydana gelen sorunları prototip ihtiyacı duymadan tasarım aşamasında çözüleceği görülmüştür.

5. Teşekkür

Bu çalışma için gerekli olan kompozit numunelerinin temini ve test ekipmanlarının kullanımını sağlayan Pega Otomotiv Arge Merkezi çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Bruni S., Vinolas J., Berg M., Polach O., Stichel S. (2011). Modelling of suspension components in a rail vehicle dynamics context. *Vehicle System Dynamics*, Volume 49(7), 1021-1072.
- Sun X., Yuan C., Cai Y., Wang S., Chen L. (2017). Model predictive control of an air suspension system with damping multi-mode switching damper based on hybrid model. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 94, 94-110.
- Lee, S.J. (2010). Development and analysis of an air spring model. *International Journal of Automotive Technology*, 11, 471-479.
- Zhu H., Yang J., Zhang Y., Feng X. (2016). A novel air spring dynamic model with pneumatic thermodynamics, effective friction and viscoelastic damping. *Journal of Sound and Vibration*, 408, 87-104.
- Oman S., Fajdiga M., Nagode M. (2010). Estimation of air-spring life based on accelerated experiments. *Materials & Design*, 31(8), 3859-3868.
- Li Z., Shen X., Li M., Guo J., Wu Y., Jiang W. (2011). Analysis on mechanical characteristics of diaphragm air spring for semi-active suspension. *International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, CECNet 2011 – Proceedings*, 2, 4781-4784.
- Turna E., Kafkas F., Şeker U., Yücesu H. (2018). Kauçuk Hava Süspansiyon Körüklerinin Üretim Yöntemi ve Yorulma Ömrünün Ürün Kalitesi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. *Journal of Polytechnic*, 0900(4), 759-764.
- YAZICI M., Kapucu OA., Kasım H., Can Y. (2017). Experimental Investigation on Fatigue Life of Cord-Rubber Composites. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Aralık Özel Sayı*, 90,16-21.
- Zhang X., Zhao G. (2015). Overview of experimental studies on strength problem of rubber material. *5th International*

- Conference on Advanced Engineering Materials and Technology, 13-22.
- Ye J., Huang H., He C., Liu G. (2018). Analysis of Vertical Stiffness of Air Spring Based on Finite Element Method. MATEC Web Conferences, 153, 06006.
- Aytaç, A., Yılmaz B., Deniz V. (2008). Kord Bezi Üretiminde büküm yönünün etkilerinin farklı deney tasarımı yöntemleri ile incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 9(1), 61-71.
- Mars, W.V., & Fatemi, A. (2004). Factors that affect the fatigue life of rubber: A literature survey. Rubber Chemistry and Technology, 77(3), 391-412.
- Oman S., Nagode M., Fajdiga M. (2009). The material characterization of the air-spring bellows sealing layer. Material and Design, 30(4), 1141-1450.
- Fatemi A., Mars WV. (2002). A literature survey on fatigue analysis approaches for rubber. International Journal of Fatigue, 24(9), 949-961.
- Guo K., Li H., Chen S., Wang W., Cong F. (2013). Design of Stiffness for Air Spring Based on ABAQUS. Mathematical Problems in Engineering, 2013, 528218.
- Fischer G., Streicher M., Grubisic V. (1998). Procedure for Validation Tests on Air Springs for Commercial Vehicles. SAE Technical Paper 982841.
- Zhang Y., Zhu H., Yang J., Feng X., Ma Z. (2017). Nonlinear dynamic model of air spring with a damper for vehicle ride comfort. Nonlinear Dynamics, 89,1545-1568.
- Kasım H. (2012). Kabin Körüklerinin Tasarımı, Üretim Ve Test Parametrelerinin Belirlenmesi. Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa,Türkiye, 2012. <https://acikerisim.uludag.edu.tr/handle/11452/10028>
- Xu L.(2020). Theoretical modeling of the vertical stiffness of a rolling lobe air spring.Science Progress, 103(3), 1-21.
- Zhao J., Xie Z., Wong PK., Xu T., He F. (2014). Analysis of automotive rolling lobe air spring under alternative factors with finite element model. Journal of Mechanical Science and Technology, 28(12), 5069-5081.
- Chen JS., Satyamurthy K., Hirschfeld IR. (1994).Consistent finite element procedures for nonlinear rubber elasticity with a higher order strain energy function. Computers & Structures, 50(6), 715-727.
- Sarıoğlu B., Durmuş A. (2019). Manufacture and Testing of Air Springs Used in Railway Vehicles. Arabian Journal for Science and Engineering, 44(9), 7967-7977.
- Jamshidi M., Afshar F., Shamayeli B. (2006). Evaluation of cord/rubber adhesion by a new fatigue test method. Journal of Applied Polymer Science , 101(4), 2488-2494.
- Wenku S., Wan J., Ying H., Weimin Y., Hao Y., Zubin L. (2009). Finite element analysis of an air spring concerning initial pressure and parameters of cord fabric layer. PACIA 2009 - 2009 2nd Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications, 1, 496-499.
- Shahzad M., Kamran A., Siddiqui MZ., Farhan M. (2015). Mechanical Characterization and FE Modelling of a Hyperelastic Material. Materials Research, 18(5), 918-924.
- Eskandary PK., Khajepour A., Wong A., Ansari M. (2016). Analysis and optimization of air suspension system with independent height and stiffness tuning. International Journal of Automotive Technology, 17, 807-816.



Akıllı Telefonda Derin Öğrenme ile Deprem Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

Baran Canpolat¹, Gonca Okay Ahi^{1*}

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8879-6394), b.canpolat@hotmail.com.tr
^{1*} Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7235-1502), goncaokayahi@hacettepe.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.891896)

ATIF/REFERENCE: Canpolat, B. & Okay Ahi, G. (2021). Akıllı Telefonda Derin Öğrenme ile Deprem Erken Uyarı Sistemi Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 23-27.

Öz

Ülkemiz gibi deprem kuşağında olan bir coğrafya için deprem araştırmaları ve olası erken uyarı sistemlerine dair olan yeni yaklaşımlar, son zamanlarda meydana gelen depremleri de göz önünde bulunduracak olursak (ör. İzmir, 2020), artan bir önem ve ihtiyaç teşkil etmektedir. Özellikle uyku halinde iken yakalanılan depremler, bilindiği üzere, çok daha vahim sonuçlar doğurmaktadır. Bu çalışmada, mevcut çalışmalardan farklı olarak, ilk tasarımı yapılan deprem erken uyarı sistemi yaklaşımı, uyku halinde iken, içinde bulunan sensörler aracılığı ile ivmeölçer'e dönüştürülen akıllı telefonlar sayesinde, ReQuakenition ismini verdiğimiz bir telefon uygulaması arayüzü ile acil durumlarda olası bir depremin haber verilmesi amaçlandı. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) web sayfasından indirilen gerçek deprem verilerinden yararlanarak Uzun kısa süreli belleğe sahip (Long-Short Term Memory: LSTM) tekrarlayan sinir ağı mimarisi (Recurrent Neural Network: RNN) derin öğrenme algoritmaları ile eğitilen verilerden elde edilen sonuçlarda %82'nin üzerinde duyarlılık gözlemlendi. Elde edilen bu ilk sonuçlar, son derece yaygın olarak kullanılan akıllı telefonların, deprem erken uyarı sistemlerinde kullanılmak üzere, jeodezik ve sismik ağların yanı sıra çok daha yoğun ve homojen bir ivmeölçer ağı gibi çalışabilmesi adına ümit vericidir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı telefon, İvmeölçer, Sensör, RNN LSTM, Derin Öğrenme, Deprem

A Preliminary Design of Smartphone-Based Earthquake Early Warning System via Deep Learning

Abstract

For an earthquake-prone geography like our country, earthquake studies and new approaches to possible early warning systems are of increasing importance and need, considering especially the recent earthquakes (e.g. İzmir, 2020). As it is known, earthquakes that are occurring especially while in sleep have much more serious consequences. In this study, unlike the current studies, a preliminary earthquake early warning system approach has been designed for the first time to be used while in sleep. It aims to notify a possible earthquake thanks to smartphones that are converted into accelerometers with the sensors inside. A smartphone application interface called ReQuakenition has been also designed for providing a user-friendly tool for emergency cases. By making use of real earthquake data downloaded from the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) website, 82 % sensitivity was observed in the results obtained from the data trained with the Recurrent Neural Network architecture (RNN) Long-Short Term Memory (LSTM) deep learning algorithms. These initial results are promising for the widely used smartphones to work as a much denser and homogeneous accelerometer network as well as geodetic and seismic networks for use in earthquake early warning systems.

Keywords: Smartphones, Accelerometer, Sensor, RNN LSTM, Deep Learning, Earthquake.

* Sorumlu Yazar: goncaokayahi@hacettepe.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde dünyada ve Türkiye’de birçok kişi akıllı telefon kullanıcısıdır. Asıl kullanım amaçlarının dışında, bu telefonlar ile hâlihazırda birçok ölçüm yapmak da mümkündür. Bu ölçümleri yapabilmeyi sağlayan içindeki elektronik sensörlerdir. Bu sensörlere örnek olarak ivmeölçer, GPS alıcısı, jiroskop, barometre, manyetometre verilebilir. Çeşitli bilgileri sağlamak için kullanılan bu sensörler dolaylı olarak biz farkında olmasak da günlük hayatımızda birçok işimizi görmektedir. Bunlar, park etmek (Liu vd., 2012a), fiziksel aktivite tanımlanması (Hassan vd., 2018; Lima vd., 2019; Voicu vd., 2019), insan hareketlerini takip etme (Del Rosario vd., 2015), kalp ritmi takibi gibi tıbbi amaçlı uygulamalar (Majumder ve Deen, 2019) olarak örneklendirilebilir.

Yerbilimlerine yönelik uygulamalara göz atacak olunursa, jiroskop ve ivmeölçer sensörlerinin Kalman filtre kullanılarak birleştirilmesi sonucunda yükseklik tahmininin elde edilmesi (Retscher 2019), inersiyel ve magnetik sensörlerin kullanımı ile kapalı alan navigasyonu konularında yapılmış çalışmalar mevcuttur (Manos vd., 2019; Chen vd., 2015; Zhuang vd., 2016; Liu vd., 2012b; Gang ve Pyun, 2019; Ehrlich ve Blankenbach, 2019). Daha fazla bilgi için, akıllı telefonlarda geliştirilen yerbilimleri uygulamalarına dair özet bir çalışma (Lee vd., 2018)*da bulunabilir. Aslında, yerbilimleri uygulamaları denince ilk akla deprem araştırmaları/erken uyarı sistemleri gelmektedir.

Küresel olarak deprem erken uyarı sistemleri ile ilgili geliştirilen yaklaşımlar ve ülkelerin geldiği noktaları anlatan özet bir çalışma (Allen vd., 2009)*da verilir. Bu kaynakta açıklandığı şekilde kavramlara açıklık getirmek adına bu yaklaşımlar şu şekilde özetlenebilir: Öncül tanımlama (Front detection), P dalgası kullanılması, yerinde uyarı (Onsite Warning), Bölgesel uyarı, Jeodezik ağlar. Öncül tanımlama, bir alanda meydana gelen kaynak olarak ifade edeceğimiz güçlü yer sarsıntısı ile uyarı iletilecek kişiler arasında mevcut bulunan sensörler aracılığı ile kaynakta meydana gelen sismik enerjinin uyarısının iletilmesini ifade eder. Bu yöntem, gelecekteki olası depremlerin konumlarının iyi bilinmesini gerektirir. P dalgası kullanılmasına değinecek olunursa P dalgasının genliği depremin yaratabileceği olası tahribat hakkında tahmin ve merkezüssü uzaklığı hesabını yapmaya olanak sağlar. Yine elde edilen dalga formundan deprem büyüklüğü (magnitudü, M) hakkında bilgi sağlanır. Yerinde uyarının temeli bir istasyonda meydana gelen sismik enerjiyi algılamak ve aynı istasyonda tekrar meydana gelecek olan yersarsıntısının uyarısını, P dalgası genliği ve yersarsıntısı arasındaki ilişkinin irdelenmesi sonucu, sağlamaktır (Ör. UrEDAS). Bölgesel uyarı sistemi bir grup sismik ağ kullanılarak, bu ağın algıladığı dalga formlarının bir veri-işlem merkezinde algılanması, değerlendirilmesi ve raporlanmasından ibarettir. Jeodezik ağlar’a değinecek olunursa bu ağlar, gerçek zamanlı olarak depremlerin algılanması, konumunun ve büyüklüğünün tespit edilmesi konusunda ağ sıklığı ile doğru orantılı bir şekilde başarılıdır.

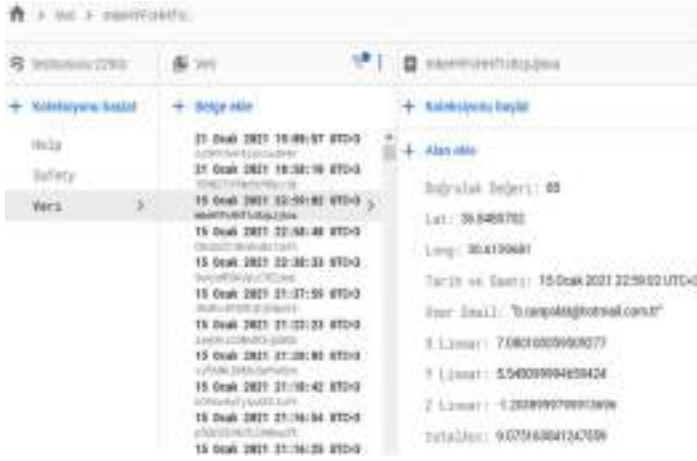
Teknolojideki gelişmelere paralel, bu yaklaşımlara ek olarak, yakın zamanda, cep telefonlarının, deprem erken uyarısı için bir araç haline gelmesi söz konusudur. Bu kapsamda, birçok uygulama geliştirildi. Bunlara örnek olarak, *Earthquakes Tracker*, *Earthquake network* (<https://www.sismo.app>) verilebilir. Fakat bu çalışmalar, bir harita üzerinde meydana gelen depremlerin bilgisini edinmek, bir deprem olduğunda bunu işaretleyerek diğer kullanıcılara bilgi vermek amaçlı kullanılan bir nevi coğrafi bilgi sistemi olarak iş görmektedir. Ek olarak,

Uluslararası Amerikan Jeoloji derneği (USGS), Kaliforniya Jeoloji araştırmaları derneği, Kaliforniya teknoloji enstitüsü, Kaliforniya acil hizmetler ofisi ve Google gibi birçok kurumun ortaklaşa işbirliği halinde geliştirdiği *Shakealert* uygulaması örnek verilebilir. Fakat bu uygulama, sismik ve jeodezik ağlardan alınan sinyallerin cep telefonları aracılığı ile cep telefonu kullanıcılarına bir uyarı şeklinde iletilmesini amaçlar ve bu ağların kısıtlı yayılımı sebebiyle belli bir bölge için sınırlıdır. Bunun dışında, Berkeley Üniversitesinde geliştirilen *MyShake* uygulamasından bahsedilebilir (Kong vd., 2016a; Kong vd., 2016b, Allen vd., 2020). Fakat kullanıcı yorumlarına bakıldığında deprem sinyali ile koşmak, yürümek gibi diğer aktivitelerden ayırt edilse de deprem olmayan sarsıntıları depremden ayırt etmede başarılı olmadığını söylenebilir.

Bu çalışmada, yukarıda bahsi geçen deprem erken uyarı yaklaşımlarından farklı olarak, akıllı telefonlarda bulunan ivmeölçer sensörü yardımı ile cep telefonunun zamana bağlı ölçü alan bir ivmeölçere dönüştürülmesi amaçlandı. Öncelikle, uyku halinde iken, deprem erken uyarı sistemi olarak tasarlanan bu yaklaşımda, deprem anında algılanan ivme daha önce gerçek deprem verisi kullanılarak derin öğrenme algoritmaları ile deprem bilgisi öğretilmiş sunucuya aktarılacak ve deprem olup olmadığı sunucuda değerlendirildikten sonra kullanıcılara gerekli uyarı aktarılacaktır. Çoklu kullanıcı deneyimi ile aynı lokasyondaki belli sayıdaki kişiden alınan benzer sinyal ile uyarının duyarlılığının artırılması ileri için ayrıca öngörüldü. Yukarıda verilen Giriş kısmından sonra ikinci bölümde kullanılan materyal ve yöntem açıklandı. Çalışmanın üçüncü bölümünde araştırma sonuçları ve tartışma sunuldu. En son kısım olan dördüncü bölümde genel sonuçlar verildi.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, yöntemsel olarak birkaç adım izlendi. Öncelikle cep telefonlarında bulunan 3-bileşenli vektörel ölçüm yapmaya olanak sağlayan ivmeölçer, jiroskop ve bunların dışında GPS sensörlerinin kaydettiği ölçüm verilerinin gerçek zamanlı olarak elde edilebilmesi için Java tabanlı bir yazılım geliştirildi. Sonraki aşamada, Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (AFAD) web sayfasındaki veri tabanı kullanılarak, Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde gerçekleşmiş, moment büyüklüğü (Mw) ≥ 4.5 olan 48 işlenmiş 44 ham veri olacak şekilde toplamda 92 adet ivmeölçer zaman serisi verisi indirildi. AFAD’ın web sayfasından indirilen gerçek deprem ivmeölçer zaman serisi verileri, sonraki aşamada derin öğrenme algoritmalarına depremin öğretilmesi için eğitim ve test seti olarak değerlendirildi. Daha sonra, tüm bunların kullanıcılara olası bir erken uyarı sistemi aracı olarak sunulması için, Java tabanlı, Android işletim sisteminde çalışan *ReQuakenition* ismini verdiğimiz bir cep telefonu uygulaması geliştirilip ilk tasarımı yapıldı. Akıllı telefonlarına bu uygulamayı yükleyen ve tercihen sürekli ve/veya uyku halinde iken ivmeölçer verisi kaydı alınan kullanıcılardan olası bir deprem kaynaklı algılanan ivme hareketi durumunda bu sinyal çevrimiçi sunucuya gönderilmek üzere tasarlandı. Mobil platformlar için Google tarafından geliştirilen Firebase adlı sunucuda daha önce derin öğrenme ağları ile eğitilen deprem verisi ve öngörülen çoklu kullanıcı deneyimi sayesinde duyarlılığın artırılması planlanan ve bu şekilde işlenen veri yakını civardaki, ya da derin uyku halindeki kullanıcılara depremin önceden haber verilmesi için tasarlandı. Şekil 1’de bahsi geçen sunucu ile olan veri-alışverişi gösterilmektedir.

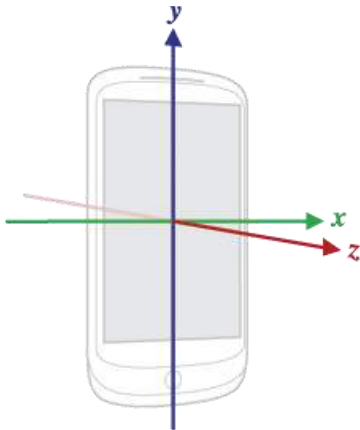


Şekil 1. Firebase'de gerçek zamanlı çevrimiçi veritabanı örnek kaydı.

2.1. Materyal

2.1.1. Sensör Verisi

Android'in geliştirdiği sensör işletim platformu aracılığı ile cep telefonundan elde edilen zamana bağlı 3-bileşenli doğrusal ivmeölçer verisi ($\text{cm}/\text{sn}^2 = \text{gal}$), ham verinin işlenerek gürültü etkisi azaltılmış ve her eksenenden gravite etkisi çıkarılmış halidir (Allen vd., 2009). Ayrıca, elde edilen değerlere, sıcaklık, bias düzeltmesi ve ölçek düzeltmesi uygulanır <https://source.android.com/devices/sensors/sensor-types>. Şekil 2'de akıllı telefonlarda kullanılan koordinat sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2. Akıllı telefonlarda kullanılan üç boyutlu Kartezyen koordinat sistemi.

Bu projede, veri örnekleme aralığı 50 Hz olarak alındı. Ayrıca ölçüm koşulu olarak kullanılmak üzere, bir gravite sensörü büyüklüğü elde edildi. Bu cep telefonunda hali hazırda bulunmayan fakat genellikle ivmeölçer, jiroskop gibi sensörlerin Kalman filtresi teknikleri ile sensör füzyonu ile türetilen bir büyüklük olup, üç boyutlu olarak gravite'nin büyüklük ve yön bilgisini sağlamaktadır. Bu veri bize telefonun rotasyonu bilgisini aynı zamanda telefon ancak düz bir zemine yerleştirildiği zaman ölçü alınması koşulunun sağlanmasını sağlamaktadır. Bunun dışında acil durumda kullanılmak üzere gerekli olan konum bilgisi GPS alıcıları sayesinde elde edilmektedir.

2.1.2. Gerçek Deprem Verisi

Bu çalışmada eğitim ve test veri seti olarak kullanılan veriler AFAD'ın web sitesinden indirildi <https://tadas.afad.gov.tr/map>. Akıllı telefonların olası ölçüm hassasiyeti (Horvath vd., 2016) göz önüne alındığında, Türkiye'de gerçekleşmiş $M_w \geq 4.5$ olan verilerin seçilmesine özen gösterildi. Bu büyüklük aynı zamanda hasara sebep olabilecek dikkate alınması gereken büyüklük değeridir. Veri tabanında bu koşulu sağlayan yaklaşık 860 kayıt olmasına rağmen bunların yarısından fazlası denizde olan depremlerdir. Diğerlerinin büyük çoğunluğu düşük ivme değerlerine sahip olması sebebiyle elendi. Ham ve işlenmiş veriler dahil, X (D-B), Y(K-G), Z bileşenleri olacak şekilde model eğitimi için kullanılabilecek toplamda 48 işlenmiş 44 ham toplamda 92 adet veri mevcut bulunmaktadır. İşlenmiş veri olarak ifade edilen veri, ham veriye 2. dereceden butterworth filtresi uygulanması ile elde edilen veridir ($f_{\text{low cut}}:0.025\text{Hz}$, $f_{\text{high cut}}:40\text{Hz}$). Şekil 3'de kullanılan bazı verilerin genel özellikleri Şekil 4'te ise gerçek bir depreme ait işlenmiş ivmeölçer zaman serisi örneği gösterilmektedir.

Location	Date	Magnitude (Mw)
Elazığ	27.12.2007	5.3
Malatya	04.08.2010	5.2
Afyon	03.02.2002	6.5
Marmara Denizi (İstanbul)	26.09.2010	5.8
Elazığ	08.03.2010	5.8
İzmir	17.10.2005	5.8
İzmit	13.09.1999	5.8
Flügel	13.04.2017	5.0
Denizli	20.03.2019	4.5
Ankara	15.03.2008	5.0

Şekil 3. Eğitim ve test verisi için kullanılan gerçek deprem verilerinden bazılarının örnekleri.



Şekil 4. D-B bileşende işlenmiş örnek bir veri (Ankara 27.12.2007/ $M_w=5.2$). En büyük ivme ~ 70 gal'dir (daire sembolü) ve oldukça şiddetli bir dalga gelmekte olduğunun habercisidir.

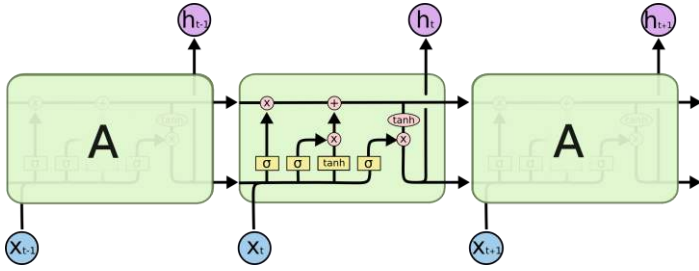
Bölüm 2.2'de anlatılacak olan konu ile alakalı Şekil 4'te gözükten kırmızı dikdörtgen ile sınırlı aralık, model eğitim verisi için her deprem verisinden, depremin ivme değerinin artmaya başladığı veya depremin belirgin ilk anından itibaren 80 ölçümlük aralık ifade etmektedir.

2.2 Yöntem: Derin Öğrenme (RNN LSTM)

Cep telefonu sensörlerinden alınan veri kıymetli olmakla birlikte kişinin günlük hayatında gerçekleştirdiği birçok fiziksel aktivite sebebiyle (ör. Yürümek, koşmak, telefonu düşürmek) aslında karmaşıktır. Dolayısıyla, kullanılacak derin öğrenme algoritması ihtiyacımız olan ivmeölçer verisini bu diğer aktivitelerden ayırabilecek nitelikte olmalıdır. Bu amaçla kullanılan algoritmalar içerisinde, zamana bağlı olarak değişen veri setleri için uygun olan (Lipton vd., 2015), tekrarlayan sinir ağı mimarisinin (RNN: Recurrent Neural Network) özel bir türü

olan uzun kısa süreli bellek ağları (LSTM: Long-Short Term Memory) modeli seçildi (Sepp Hochreiter ve Juergen Schmidhuber 1997).

RNN sinir ağı geçici hafızaya sahip olması sebebiyle diğer yapay sinir ağlarından farklıdır. Öğretilen bir bilginin hafızadan kullanılabilmesi özelliği sayesinde başka sinir ağı yapılarına kıyasla daha verimli çalışır. Fakat bu hafıza kısa süreli bir belleğe sahiptir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek adına RNN'nin özel bir türü olan hem uzun hem kısa süreli belleğe sahip LSTM yapısı geliştirildi. Bu vesile ile sinir ağları yakın ve uzak geçmişe ait bilgileri saklayabilmektedirler. RNN Şekil 5'de görüldüğü üzere basitçe tekrarlayan bir sinir ağı yapısından oluşur.



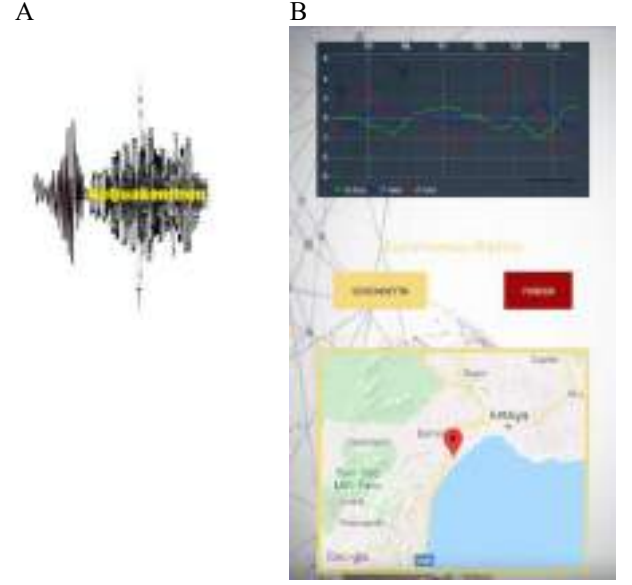
Şekil 5. Uzun kısa süreli belleğe sahip tekrarlayan sinir ağı mimarisi (RNN LSTM). <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>

Burada, A: sinir ağı parçası, x_t : girdi veri ve H_t çıktı veri olarak adlandırılabilir. RNN'in özel bir türü olan LSTM'de standart olarak kullanılan tek bir gizli katman yerine 4 adet sinir ağı katmanına rastlanır (şekilde sarı renkli kutular). Bu gizli katmanlar bilgileri hatırlayan kısımdır ve özel bir etkileşime girerek bilgiyi iletir. Bu modelle ilgili detaylı teorik bilgi için Sherstinsky (2020)'ye bakınız. Yapılan bu çalışmada, RNN mimarisinde toplam 1 LSTM katmanı (32 birim) 2 sık (ilki 32 birim diğeri 1 birim) adet katman yapısı kullanıldı. Katmanlar oluşturulduktan sonra optimizasyon yöntemi olarak Relu (rectified linear activation function), hata yöntemi olarak ortalama kare hata (Mean squared error) kullanıldı. Model Tensorflow ve Keras kütüphaneleri kullanılarak tasarlandı Android sistemine olan entegrasyonu ise ücretsiz olarak kullanıcılara sunulan Tensorflow lite versiyonu kullanılarak elde edildi.

2.3 ReQuakenition uygulaması

Uygulama yüklendiği zaman kullanıcıdan öncelikle konum, ad soyad, email bilgilerinin girilmesi istenir. Tasarlanan bu uygulama arka planda sürekli olarak çalışmaktadır. Yine de cep telefonun şarjını ve hafızasını optimum seviyede kullanacak şekilde programlandı. Türetilmiş gravite verisi ile tespit edebileceğimiz üzere, asıl veri cep telefonu düz bir zeminde iken alınacak olmak üzere tasarlandı. Böylece, ilave bir fiziksel aktivite tanımının programlanmasına ihtiyaç kalmadı. Bu ilk örnek tasarımda amaçlanan, gece uyku halinde ani yakalanılan depremlerin önceden haber verilebilmesidir. Geliştirilen mobil uygulamada, sunucuda işlenen ve deprem olduğuna karar verilen gerçek zamanlı sinyal tüm kullanıcılara uyarı olarak iletilecektir. Bu şekilde, deprem merkez üssüne yakın oturan ve etki alanındaki kişiler aynı anda haberdar edilecektir. Bunun dışında uygulama açıldığında AFAD ve/veya Kandilli web sayfası üzerinden sunulan bilgiler aracılığı ile gerçek zamanlı olarak Türkiye'de

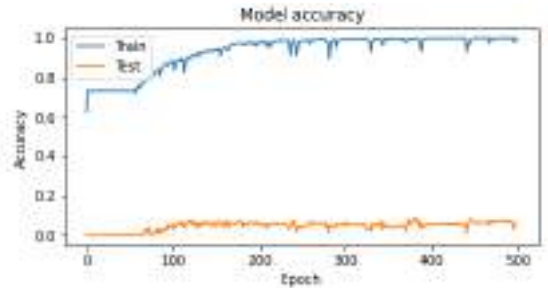
olan depremlerin konum ve büyüklük bilgilerinin gösterilmesini, olmuş depremin bilgisinin girilmesini, deprem anında şebekeleri meşgul etmemek adına önceden tanımlanmış yakın kişiler listesine "güvendeyim" bilgisinin gönderilmesini öngörmektedir. Deprem olduğu tespit edilen bölgede kayıtlı kullanıcılar tarafından "güvendeyim" bilgisi göndermemiş olanların son konum bilgilerinden hareketle göçük altında kalmış olabileceği öngörülecek ve gerekli arama kurtarma ekiplerine ilgili bilgiler gönderilecek şekilde uygulamanın tasarımı halen geliştirilmektedir. Bu bağlamda ayrıca "yardım" butonu da bulunmaktadır. Şekil 6 geliştirilen uygulamanın ilk tasarımı ve logosu ile ilgili bilgi bulunmaktadır.



Şekil 6. (A) Deprem erken uyarı için geliştirilen ReQuakenition mobil uygulama logosu ve (B) programın arayüzü.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Gerçek deprem verileri ile eğitilen derin öğrenme modelini, yine gerçek ancak modelin eğitimine dahil edilmemiş bir deprem verisi ile test ettiğimizde %96 gibi bir doğruluk elde edildi. Şekil 7'de elde edilen modelin eğitim doğruluğu grafiği bulunmaktadır.



Şekil 7. Model eğitim doğruluğu grafiği.

Yine aynı şekilde, Python/Random kütüphanesi ile oluşturulan ± 10 değer aralığına sahip rastgele ondalık sayılar ile elde edilen zaman serisi ile test edilen modelin çıktısı %0 oldu. Bu testler göz önüne alındığında ilk aşamada başarılı bir model elde edildiği söylenebilir.

4. Sonuç

Bu çalışma, deprem erken uyarı sistemleri çalışmalarına teknolojik gelişmelere paralel olarak farklı bir yaklaşımla cep telefonlarının kullanımını dahil etti, bunun üzerinden geliştirilen bir sistem tasarlandı ve mevcut sensörler kullanılarak cep telefonları bir ivmeölçer'e dönüştürüldü. Bu şekilde günümüzdeki cep telefonu kullanıcı sayısı düşünülecek olunursa, sismik ve jeodezik ağların kısıtlı sayıda olması ve homojen dağılmamasının getirdiği dezavantajların ortadan kaldırılması hedeflendi. RNN LSTM derin öğrenme algoritmaları kullanılarak öğretilen model sayesinde yapılan öncül testlerde tahmin edilen verilerin doğruluğu %82'nin üzerindedir. Öngörülen çoklu kullanıcı deneyimleri sayesinde bu duyarlılığın daha da artırılması olasıdır. Yapılan bu çalışma prototip niteliğindedir. Yakın gelecekte bu çalışmanın daha da genişletilmesi adına farklı şiddetteki depremleri simüle etmeye yarayan sarsma tabloları üzerinde farklı sensör duyarlılığındaki akıllı telefonlar kullanılarak, telefonlarda kullanılan sensörlerin farklı deprem büyüklüklerine olan duyarlılığının incelenmesi öngörüldü. Ayrıca, aynı lokasyondaki veriler ya da farklı şiddetteki veriler kullanılarak farklı şekillerde veri girdi setleri çeşitlendirilerek modelin buna duyarlılığının araştırılması da ayrı bir çalışma konusu olarak değerlendirilecektir. Bunlara ek olarak, çalışmanın ileri aşamalarında test için rastgele verilerin yanısıra, hasara sebebiyet vermeyen deprem verilerinin ve depremsiz anlardaki verilerin de test edilmesi faydalı olacaktır. Son olarak, geliştirilen mobil uygulamanın tasarımı ile ilgili kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak yeni eklentilerin dahil edilmesi planlanmaktadır.

Kaynakça

- Allen R.M., Kong, Q., Martin-Short, R. (2020). The MyShake Platform: A Global Vision for Earthquake Early Warning. *Pure Appl Geophys.* doi: 10.1007/s00024-019-02337-7
- Allen, R. M., Gasparini, P., Kamigaichi, O., & Bose, M. (2009). The status of earthquake early warning around the world: An introductory overview, *Seismological Research Letters*, 80(5), 682-693.
- Chen, Z., Zou, H., Jiang, H., vd. (2015). Fusion of WiFi, smartphone sensors and landmarks using the kalman filter for indoor localization, *Sensors (Switzerland)*. doi: 10.3390/s150100715
- del Rosario, MB., Redmond, SJ., Lovell, NH. (2015). Tracking the evolution of smartphone sensing for monitoring human movement, *Sensors (Switzerland)*.
- Gang, H-S., Pyun, J-Y. (2019). A Smartphone Indoor Positioning System Using Hybrid Localization Technology, *Energies*, 12(19), 3702.
- Hassan, MM., Uddin, M.Z., Mohamed, A., Almogren, A. (2018). A robust human activity recognition system using smartphone sensors and deep learning, *Futur Gener Comput Syst.* doi: 10.1016/j.future.2017.11.029.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.
- Horvath, Z., Jenak, I., Wu, T., Xuan, C. (2016). Sensitivity of sensors built in Smartphones. In: *Harmony Search Algorithm*, Springer, 305-313.
- Kong, Q., Allen, R. M., Schreier, L., & Kwon, Y. W. (2016a). MyShake: A smartphone seismic network for earthquake early warning and beyond. *Science advances*, 2(2), e1501055.
- Kong, Q., Allen, R. M., & Schreier, L. (2016b). MyShake: Initial

- observations from a global smartphone seismic network. *Geophysical Research Letters*, 43(18), 9588-9594.
- Lee, S., Suh, J., Choi, Y. (2018). Review of smartphone applications for geoscience: current status, limitations, and future perspectives, *Earth Sci. Informatics*.
- Lima, W.S., Souto, E., El-Khatib, K., vd. (2019). Human activity recognition using inertial sensors in a smartphone: An overview, *Sensors (Switzerland)*. doi: 10.3390/s19143213.
- Lipton, Z.C., Berkowitz, J., Elkan, C. (2015). A critical review of recurrent neural networks for sequence learning, *arXiv preprint arXiv:1506.00019*.
- Liu, J., Chen, R., Chen, Y., vd. (2012a). iParking: An intelligent indoor location-based smartphone parking service, *Sensors (Switzerland)*. doi: 10.3390/s121114612.
- Liu, J., Chen, R., Pei, L., vd. (2012b). A hybrid smartphone indoor positioning solution for mobile LBS, *Sensors (Switzerland)*. doi: 10.3390/s121217208.
- Majumder, S., Deen, M.J. (2019). Smartphone sensors for health monitoring and diagnosis, *Sensors (Switzerland)*.
- Manos, A., Klein, I., Hazan, T. (2019). Gravity-based methods for heading computation in pedestrian dead reckoning, *Sensors (Switzerland)*. doi: 10.3390/s19051170.
- Real Ehrlich, C., Blankenbach, J. (2019). Indoor localization for pedestrians with real-time capability using multi-sensor smartphones, *Geo-Spatial Inf Sci.* doi: 10.1080/10095020.2019.1613778
- Retscher, G. (2019). Indoor Altitude Determination Using MEMS-based Sensors in Smartphones, In *Proceedings of the ION 2019 Pacific PNT Meeting* (pp. 615-627).
- Sherstinsky, A. (2020). Fundamentals of recurrent neural network (RNN) and long short-term memory (LSTM) network. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 404, 132306.
- Voicu, R.A., Dobre, C., Bajenaru, L., Ciobanu RI (2019) Human physical activity recognition using smartphone sensors. *Sensors (Switzerland)*. doi: 10.3390/s19030458
- Zhuang, Y., Yang, J., Li, Y., vd. (2016). Smartphone-based indoor localization with bluetooth low energy beacons, *Sensors (Switzerland)*. doi: 10.3390/s16050596.



Metamalzeme Tabanlı İki Bantlı Mükemmel Soğurucu

Rafettin Aytekin¹, Habibe Durmaz^{2*}

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6986-059X), mhndsrhafet@gmail.com

^{2*}Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5929-861X), hdurmaz@kmu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.891996)

ATIF/REFERENCE: Aytekin, R. & Durmaz, H. (2021). Metamalzeme Tabanlı İki Bantlı Mükemmel Soğurucu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 28-33.

Öz

Son zamanlarda mükemmel soğurucular (MS), karmaşık elektriksel ve manyetik geçirgenlik özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmüştür. Malzemenin ve geometrinin doğru oranlarda seçilmesiyle MS' nin empedansı boş uzaya eşleştirilebilir; böylece geniş elektromanyetik spektrumda güçlü soğurum elde edilebilir. Özellikle metal-dielektrik bazlı plazmonik metamalzemelerden oluşan nanoyapılar, güçlü yakın alan geliştirme, negatif kırılma indeksi ve optik gizleme gibi benzersiz optik özellikler sergiler. Bu çalışmada, metamalzeme tabanlı farklı rezonanslarda aynı anda %100'e yakın bir soğurumla çalışan iki bantlı U şeklinde antenlerden oluşan bir MS platformu önerilmiştir. MS platformunun ince ayar mekanizması için sonlu fark zaman alanı (FDTD) simülasyonları aracılığıyla spektral yanıtının geometrik parametrelere bağımlılığı sayısal olarak analiz edilmiştir. Soğurum tepkisini ve yakın alan dağılımlarının fiziksel temelleride sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal hesaplamalarımız, ikili rezonanslarda U plazmonik anten sisteminin geniş ve kolayca erişilebilen yerel elektromanyetik alanları desteklediğini göstermektedir. Deneysel sonuçlar, teorik hesaplamalar ile oldukça uyumlu olduğu gösterilmiştir. Çift rezonanslı U şekilli antenler sahip oldukları güçlü ve erişilebilir elektromanyetik alandan dolayı güçlü yakın alan özelliklerine sahiptir ve çok sayıda spektral özellik gerektiren birçok uygulama için oldukça avantajlı olabilir. Ayrıca, önerilen U şekilli plazmonik antenlerin rezonans frekansı spektral olarak ayarlanabildiği için aktif filtreler, optik modülatörler, ultra hızlı anahtarlar, haberleşme, detektör ve biyoalgılama gibi çok çeşitli uygulamalar için de kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Nanoyapı Üretimi, Metamalzemeler, Yüzey Plazmonları, Mükemmel Soğurucu

Dual Band Perfect Absorber Based on Metamaterials

Abstract

Recently, perfect absorbers (PAs) have attracted great attention due to their complex electrical permittivity and magnetic permeability properties. By choosing the right ratio of the material and geometry the impedance of the perfect absorber can be matched to the free space; therefore, strong absorption in a wide range of electromagnetic spectrum. Especially, metal-dielectric based plasmonic metamaterials in nanometer scale exhibit unique optical properties such as strong near field enhancement, negative refractive index and optical cloaking. In this study, we propose a dual-band metamaterial base PA platform consisting of U-shaped antennas with unity absorption. The finite difference time domain (FDTD) method was used to numerically analyze the spectral response dependence on geometric parameters to fine tune the mechanism of the PA platform. The physical basis of the absorption response and near-field distributions of these nanoscale antennas were also studied numerically. Our numerical calculations show that U-shaped plasmonic antenna system supports large and easily accessible local electromagnetic fields. Experimental and theoretical results are found to be in good agreement. U-shaped antennas with dual resonances with strong electromagnetic fields can be highly advantageous for a wide variety of applications that require a large number of spectral features with strong near field properties. In addition, since the resonance frequency of the proposed U-shaped plasmonic antennas can be adjusted spectrally, they can also be used for a wide variety of applications such as active filters, optical modulators, ultra-fast switching devices, communication, detectors and biosensing.

Keywords: Nanostructure Fabrication, Metamaterials, Surface Plasmons, Perfect Absorber

*Sorumlu Yazar: hdurmaz@kmu.edu.tr

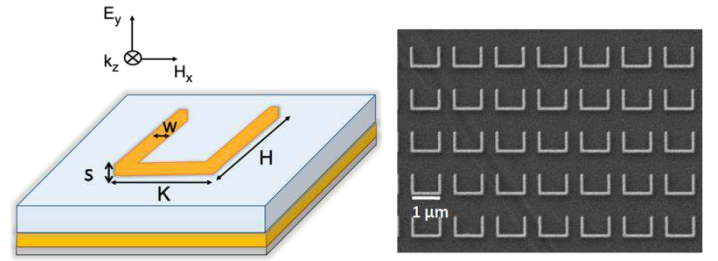
1. Giriş

Mükemmel soğurucular (MS), metamalzemelerin sahip olduğu negatif kırılma indisinden dolayı kolayca oluşturulabilirler (C. M. Soukoulis, 2007). Metamalzemelerin empedansı ($z = \sqrt{\mu/\epsilon}=1$) çevresini saran uzaya kolayca ayarlanabildiği için maksimum güç transferi elde edilmesini ve ışığın mükemmel yakın bir şekilde hapsedilmesini sağlar. Bu olağandışı elektromanyetik özellikleri nedeniyle metamalzemeler, mükemmel mercekleme (Grisha Spektor, 2015), biyo-algılama (Cameron Gilroy, 2019), optik enerji toplama cihazları (Seon-Young Rhim, 2020), yüzeyi güçlendirilmiş titreşim spektroskopisi (Arif E. Cetin, 2016) ve görünmezlik gizlemesi (Yakov Galutin, 2017) için son birkaç yılda büyük ilgi görmüştür. Landy ve arkadaşları bir elektrik rezonatörü ve kesik telden oluşan ve bağımsız olarak elektrik ve manyetik alanları destekleyen mikrodalga frekans aralığında çalışan ilk MS' yi göstermişlerdir (N. I. Landy, 2008). Metamalzemeler kullanılarak orta kızılötesi bölgesine kadar dalgaboyu ayarlanabilen çoklu rezonanslı mühendislik metamalzemeleri (Arif E. Cetin, 2016), aktif filtreler (Luc Duempelmann, 2016), optik modülatörler (Bowen Li, 2017) ve biyo-sensörler (Alexander Belushkin, 2018) geliştirilmiştir. Tek, çift ve çok bantlı mükemmel soğurucu yapılar literatürde gösterilmiş ve farklı tasarımlarda üretimler gerçekleştirilmiştir (Ting Xie, 2017) (Arif E. Cetin, 2016) (Wang Xin, 2017) (Deepak Sood, 2017) (A. Degiron, 2004). Son yıllarda birçok araştırmacı alt dalga boyutlarındaki anten tasarımlarını kullanarak optik (Tsai, 2006), kızılötesi (Biagioni, 2019), terahertz (THz) (Khwanchai Tantiwanichapan, 2017) ve mikrodalga (Rana Sadaf Anwar, 2018) frekans aralıklarında yüksek geçirgenliğe sahip yapılara odaklanmışlardır. Nano-antenlerin optik özellikleri çevresindeki ortamın kırılma indisine, antenlerin geometrik şekline ve yönüne, metal film kalınlığına ve kafes geometrisine bağlıdır (Ahmet Ali Yanik, 2008) (Yasa Ekşioğlu, 2018).

Geleneksel malzemelerin elektromanyetik özellikleri atomik ya da moleküler yapıya bağlıyken metamalzemelerin özelliği rezonans elementinden kaynaklanmaktadır (N. I. Landy, 2008). Metamalzeme tabanlı MS' ler tipik olarak, alt metal film ile rezonatör görevi gören desenli üst metal plazmonik nanoanten ve bunlar arasına sıkıştırılmış dielektrik ara katmandan oluşan üç işlevsel katman kullanılarak tasarlanabilir (N. I. Landy, 2008). Üç katmanlı konfigürasyonda, dielektrik katmanın kalınlığı absorpsiyon seviyesini % 100 ve rezonans düşüşün genişliğini (kalite faktörü, $Q = \lambda / \Delta\lambda$) minimize etmeyi sağlayan önemli bir parametredir. MS' lerin en üst katmanında bulunan dalga boyundan daha küçük boyutlara sahip olan plazmonik anten bileşenleri, çalışma frekansından gelen radyasyonun çoğunu soğurur. En alt katmanı oluşturan kalın metal tabaka ise geçirgenliği önemli ölçüde azaltan optik ayna görevini üstlenir. Işık antenlerle çiftenmesi elektrik alan indüklerken, antenler ve taban metal levha arasındaki yakın alan etkileşimleri alt katmanda ayna görüntüsü yüklerinin oluşmasına neden olur. Bu yükler ise manyetik alan indükleyen bir akım döngüsü oluşturur (Zhi Hao Jiang, 2011). Elektrik ve manyetik alanların genliği ve rezonans frekansının ayarlanması ile MS' nin empedansını boş uzaya eşleştirebilir, bu da yansımaya en aza indirir. Yansıma en aza indirgenirken alttaki metal levha ile geçirgenliğin minimize edilmesi mükemmel soğurumun oluşmasını sağlar.

MS' nin etkin dalga boyu $\lambda_{\text{eff}} = 2n_{\text{eff}}L + C$ ile verilmektedir. Burada n_{eff} etkin kırılma indisi, L yalıtkan üzerindeki anten boyutu ve C sabit olarak verilmiştir. L uzunluğundaki bir nanorod anten için birinci dereceden dipolar plazmonik uyarımların rezonans dalga boyu yaklaşık olarak $\lambda_{\text{res}} = 2Ln_{\text{eff}} + C$ de meydana gelir.

Bu çalışmada, iki bantlı spektral rezonansları destekleyen U şekilli nano antenlerden oluşan kompakt bir metamalzeme tabanlı çip incelenmiştir. Metamalzeme tabanlı antenin spektral tepkisi hem sayısal hem de deneysel olarak araştırılmıştır. İkili rezonans davranışın fiziksel kökenini anlamak için sonlu fark zaman alanı (FDTD) yöntemi ile yapıyı analiz ederek rezonans modları ve alan dağılımları elde edilmiştir. Antenlerin çevresindeki güçlendirilmiş yakın elektrik alan dağılımları matematiksel olarak incelenmiştir. Rezonans düşüşlerinin geometrik parametrelere bağımlı olarak spektral değişimi de incelenmiştir.



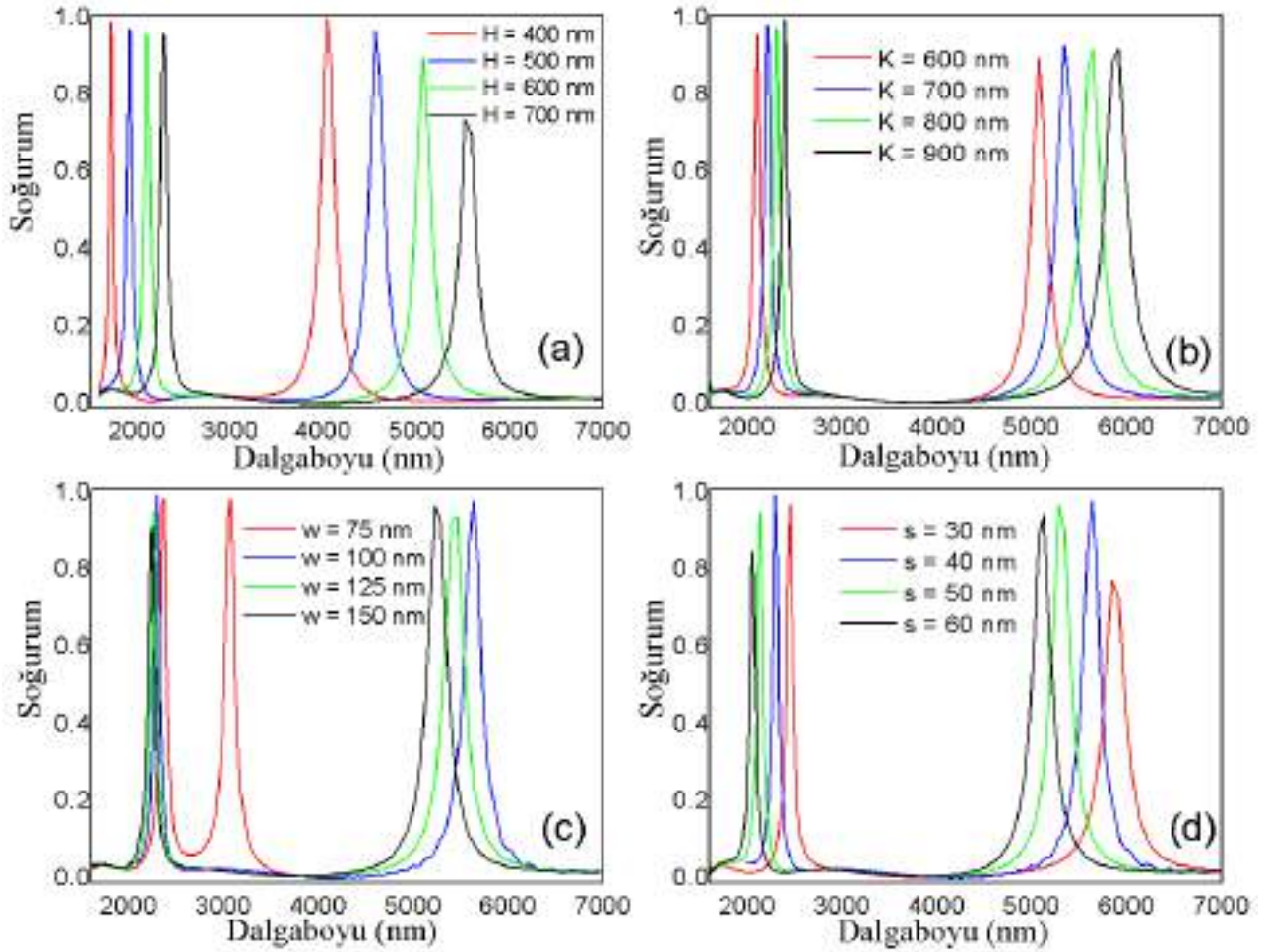
Şekil 1. Önerilen U biçimli metamalzeme anten tasarımının şematik görünümü (Sol) Geometrik parametreler dahil U biçimli metamalzemelerin üstten görünümü: K uzunluk; H yükseklik; w anten genişliği. Y-polarize aydınlatma kaynağında şekilde gösterilmektedir. U anten kalınlığı 40 nm altın (Au), 5 nm titanyum (Ti); alttaş kalınlıkları 200 nm Au ve 140 nm kalınlığında SiO₂ tabakalarından oluşmaktadır. (Sağ) Üretilmiş U şekilli antenlerin SEM görüntüsü.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sayısal Analiz

Önerilen iki rezonanslı U-şekilli metamalzeme tabanlı anten tasarımının şematik görünümü Şekil 1' de gösterilmektedir. Alttaş olarak Silisyum, hemen üzerine 200 nm kalınlıkta Au, yalıtkan için 140 nm SiO₂ ve antenler (U yapı) için 40 nm kalınlıkta Au kullanılmıştır. Bu şekilde, K yapının uzunluğunu, H yüksekliğini, w anten genişliğini belirtmektedir. Önerilen antenin spektral davranışı sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Sayısal analiz için, U-şekilli nano-antenler FDTD yöntemi ile modellenmiştir ve materyal parametreleri (Ti ve Au' nun dielektrik sabitleri) Palik referansından alınmıştır (Palik, 1985). İki ayrı elemandan oluşan birim hücrede, x ve y eksenleri boyunca periyodik sınır koşulları ve ışık kaynağının yönü z doğrultusunda seçilip yine bu doğrultuda mükemmel uyumlu katmanlar sınır şartı olarak kullanılmıştır.

Şekil 2' de hesaplanan yansıma spektrumları, önerilen nano-antenin orta kızılötesi dalga boylarında iki adet rezonansı (λ_1 ve λ_2) olduğunu göstermektedir. Nano-antenlerin fiziksel özellikleri değiştirilerek rezonans tepeleri kontrollü bir şekilde ayarlanabilir. U-şekilli MS' nin spektral davranışını kontrol etmek için, spektrumların K, H, s ve w gibi geometrik parametrelere bağımlılığı Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Önerilen U-şekilli metamalzeme antenin FDTD yöntemi ile hesaplanan yansıma spektrumları. Ardişık iki tepe sırasıyla λ_1 ve λ_2 dalga boylarındaki rezonanslara karşılık gelmektedir. (a) H 'nin değişen değerlerine karşılık gelen parametreler $K = 600$ nm, $s = 40$ nm, $w = 100$ nm'dir. (b) K 'nin değişen değerlerine karşılık gelen parametreler $H = 600$ nm, $s = 40$ nm, $w = 100$ nm'dir. (c) w 'nin değişen değerlerine karşılık gelen parametreler $H = 600$ nm, $K = 600$ nm, $s = 40$ nm'dir. (d) s 'nin değişen değerlerine karşılık gelen parametreler $H = 600$ nm, $K = 600$ nm, $w = 40$ nm'dir. Periyot herbir veri seti için 1400nm'dir.

Antenin paralel kollarının uzunluğunun (H) artması iki modun bağımsız olarak uyarılmasına neden olur, böylece bireysel olarak her iki yansıma spektrumu istenilen dalgaboyuna ayarlanabilir. H uzunluğunun 400 nm'den 700 nm'ye kadar artırılması Şekil 2(a)'da gösterildiği gibi λ_1 'deki rezonans düşüşünde kayda değer bir değişime neden olmazken λ_2 'deki rezonans düşüşü kuvvetli şekilde azalmaktadır. Benzer şekilde Şekil 2(b)'de U antenin taban uzunluğu K 'nin 600 nm'den 900 nm'ye artırılması da λ_1 'deki rezonans düşüşünde kayda değer bir değişime neden olmazken λ_2 'de küçük rezonans düşüşüne neden olmaktadır. Şekil 2 (a) 'da gösterilen spektrumun H parametresine bağlı değişimi, her iki modda da artan H uzunluğu ile kırmızıya doğru kuvvetli bir kayma olduğunu göstermektedir. Bu durum, Şekil 3' de sunulan alan modellerinin analiz edilmesiyle anlaşılabilir. U anten kollarının üst-iç ve alt-dış köşelerinde yoğunlaşmış alan dağılımı λ_1 'de ki rezonans düşüşünden sorumlu iken, U anten kollarının üstü ve dış-yan duvarlarındaki güçlendirilmiş alan λ_2 'deki rezonans düşüşünden sorumludur. Dolayısıyla bu iki alan birbiri ile etkileşmediğinden λ_1 ve λ_2 rezonansları statik olarak istenilen değere ayarlanabilir. Sonuç olarak, hesaplanan ve ölçülen yansıma spektrumlarından, önerilen metamalzeme antenin her iki rezonans modu için güçlü düşüşlere sahip olduğu görülmektedir. Bu geometri için, anten genişliği w kontrol

parametresi değiştirilerek yansıma spektrumunun değişimi Şekil 2 (c)'de gösterilmiştir. Anten genişliğinin 75, 100, 125 ve 150 nm olduğu değerlerde λ_1 de neredeyse hiç değişim gözlenmezken λ_2 'deki rezonans düşüşleri artan w değeri ile kısa dalgaboylarına kaymaktadır. Şekil 2(c)'de w 'nin artması rezonans dalga boylarını hafifçe değiştirirken, H ve K 'yi arttırmak yansıma spektrumunda güçlü bir kırmızıya kaymaya neden olur. Şekil 2(d)'de farklı rezonatör kalınlıklarının rezonans düşüşlerine etkisi gösterilmektedir. Rezonatör kalınlığı gelen ışığın soğurulmasında doğrudan etkili olduğu için, en güçlü etkileşim rezonatörün kalınlığının 40 nm olduğu değerde gerçekleşmektedir. Önermiş olduğumuz U anten yapı orta-IR frekans aralığında çalışmasına rağmen, kompakt yapının geometrisi ölçeklendirilerek, rezonans konumları orta-IR'den görünür veya THz dalga boylarına kadar geniş bir aralıkta ayarlanabilir.

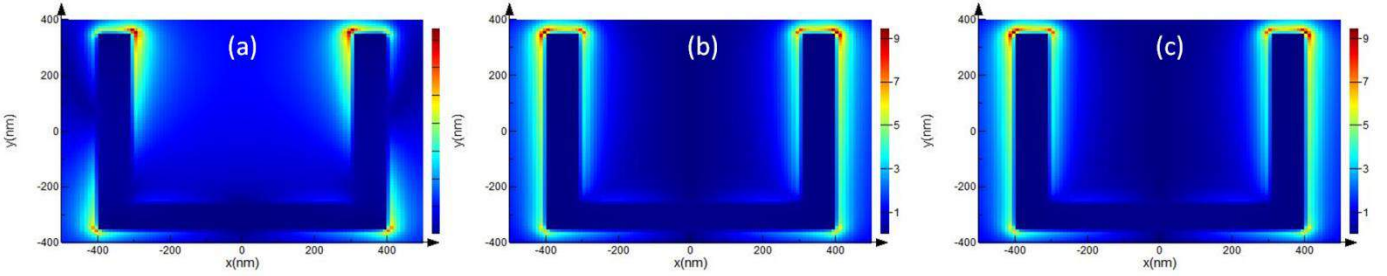
2.2. Alan Dağılımları

U-şekilli nano-antenlerin desteklediği iki spektral yanıtın fiziksel kökeni sayısal olarak FDTD yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Şekil 2' de gösterilen λ_1 ve λ_2 rezonans düşüşlerine karşılık gelen metal katman içindeki elektrik alan şiddetleri Şekil 3' de gösterilmiştir. Şekil 3' de gösterildiği gibi, her bir rezonans

modu kompakt U yapısının bütün kısımlarının ortak (çiftlenimli) etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu şekillerden birinci ve ikinci U-şekilli antenlerin esas modları olarak λ_1 ve λ_2 'ye karşılık gelirken üçüncüsü toplam (λ_1 ve λ_2) alan dağılımını göstermektedir. U şeklindeki antenin üst kısmında içe dönük ucu, taban-dış köşeler λ_1 'e karşılık gelen rezonansı destekleyen güçlü elektrik alana sahiptir. Diğer yandan, U-antenin λ_2 'ye karşılık gelen ikinci modu, U antenin yan-dış kenarları ile üst-uc

kısımlarında bulunmaktadır. Bu nedenle, kompakt yapının birinci ve ikinci modları, nano antenlerin bağlı (çiftlenmiş) modlarıdır.

Şekil 3 (a) ve 3 (b) 'de görüldüğü gibi birinci ve ikinci modlar için elektrik alan güçlendirilmesi 400 kattan daha büyük olduğundan Raman, floresans ve kızılötesi spektroskopide kullanılabilir.

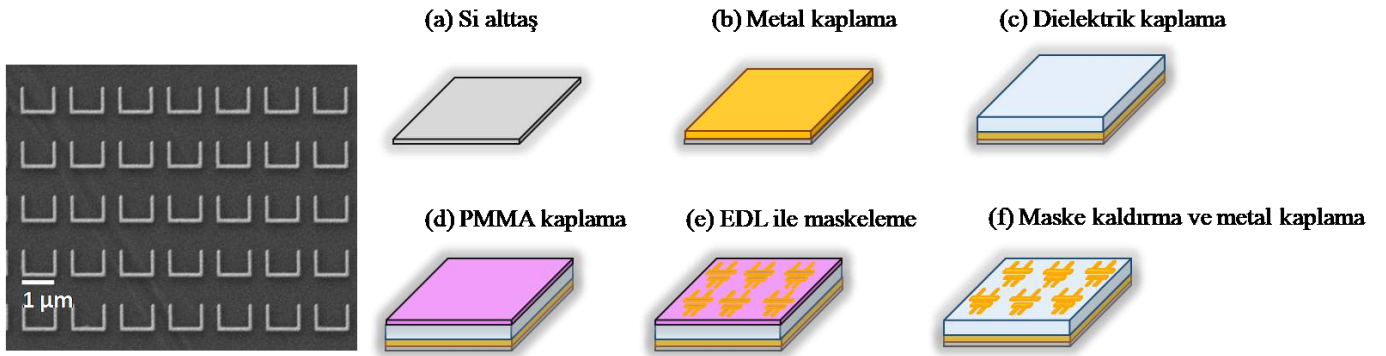


Şekil 3. U-şekilli nano-antenlerin alan dağılımları. Geometrik parametreler $H = 600$ nm, $K = 600$ nm, $w = 100$ nm ve $s = 40$ nm alınmıştır. Sol ve ortadaki şekillerde temel modları λ_1 ve λ_2 'ye karşılık gelen U antenlerin alan dağılımları ve en sağda ise bunların toplam alan dağılımı gösterilmektedir.

2.3. Fabrikasyon Süreci

Üretim süreci Şekil 4' de şematik olarak özetlenmiştir. İlk olarak, 200 nm kalınlığındaki altın tabaka elektron buharlaştırma yöntemi ile Si alttaş üzerine kaplanmıştır. Daha sonra Şekil 4 (c)' de gösterildiği gibi 140 nm kalınlığındaki SiO_2 dielektrik tabakası termal buharlaştırma yöntemi ile altın tabaka üzerine kaplanmıştır. Şekil 4 (d)' de gösterildiği gibi elektron demet litografisi (EDL) için, pozitif ton dirençli polimetilmetakrilat (PMMA) döndürmeli kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Yüksek kaliteli nano yapılar elde etmek için EDL kullanılarak Şekil 4(e)' de gösterildiği gibi U şeklindeki nano-antenler desenlenmiştir. Desenleme işleminde elektron demetine maruz kalan

kısımlardaki PMMA moleküllerinin yapısı bozulduğu için çip metil izobütül keton (MIBK; methylisobutylketone)/ IPA/saf su içerisine daldırılarak bozulan bu kısımlar yüzeyden kaldırılır. Böylece yüzeye yapılacak olan U-şekilli antenlerin oluşturulacağı kısımlar SiO_2 diğer kısımlar ise PMMA olarak kalır. Üretimin son aşamasında 40 nm kalınlığında Au film çip yüzeyine kaplanır ve U-şekilli antenleri meydana çıkartmak için çip asetona batırılarak yıkanır. Bu aşamada SiO_2 üzerine Au film yapışarak antenler oluşturulurken, PMMA üzerine kaplanan Au asetona yıkama işleminde yüzeyden sökülerek atılır. SEM görüntüsünde, üretimi tamamlanmış antenlerin belirgin şekilde üretildiği ve U antenlerin geniş çip yüzeyinde tek tip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4. Üretim şeması ve U-şekilli nano-antenlerin SEM görüntüleri. (a) Si alttaş, aseton, IPA ve DI su ile yıkanıp üretime hazır hale getirilmiştir. (b) 5 nm kalınlığındaki Ti katmanından sonra 200 nm kalınlığında Au film elektron buharlaştırma yöntemi ile Si Alttaş üzerine kaplanmıştır. (c) 140 nm kalınlığındaki SiO_2 filmi termal buharlaştırma yöntemi ile kaplanmıştır. (d) Döndürmeli kaplama yöntemi ile Si+Au+ SiO_2 üzerine PMMA kaplanarak EDL için çip hazır hale getirilmiştir. (e) U şekilli nano antenler EDL yöntemiyle PMMA üzerine desenlenmiştir. (f) EDL ile maskeleyme işlemi tamamlandıktan sonra 2 nm Ti/ 40 nm Au filmi çip üzerine kaplanarak U şekilli nano-antenler ortaya çıkarılmıştır.

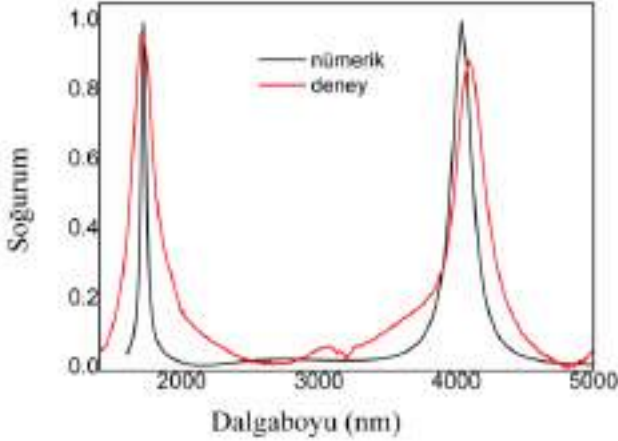
Üretilmiş U şekilli plazmonik nanoantenlerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü Şekil 4' te gösterilmiştir. Bu yapılar Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopi ile optik olarak karakterize edilmiştir. Deneysel kurulumumuz, KBr demet bölücü ile entegre edilmiş Bruker FTIR spektrometresine bağlı bir IR mikroskobundan oluşur. Şekil 1' de gösterilen ve

anten yüzeyine normal olarak gelen elektromanyetik radyasyon, rezonatörler (antenler) üzerindeki yüzey plazmon modlarını verimli bir şekilde uyarmaktadır. E_y polarize ışık için (E-alanının U şeklindeki antenin her iki koluna paralel olduğu durumda) yapı, iki farklı rezonans sağlar. E_x polarizasyonu için, yalnızca çift bantlı bir rezonans davranışı vardır (veriler

gösterilmemiştir). Yansıyan kızılötesi sinyal, bir Cassagrian yansıma optiği (NA = 0.4) tarafından toplanır ve bir sıvı azot (N₂) soğutmalı cıva kadmiyum tellürür (MCT) detektörüne bağlanır. Yansıma verileri, altın bir aynadan alınan optik sinyal ile normalize edilerek istenmeyen elektronik ve arka plan gürültüsü elimine edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

U şekilli metamalzeme tabanlı MS sisteminin rezonans dalgaboyu ve düşüşlerinin geometrik parametre bağımlılığı hem teorik hem de deneysel olarak incelenmiştir.



Şekil 5. U-şekilli nano-antenlerin ölçülmüş spektrumu. Üretim ve simülasyon için kullanılan parametreler $K = 600 \text{ nm}$, $H = 400 \text{ nm}$, $w = 100 \text{ nm}$, $s = 40 \text{ nm}$ ve periyot 1400 nm 'dir.

Deney ve simülasyon ile elde edilen sonuçların oldukça iyi uyum içinde olduğu görülmektedir. Rezonans frekansındaki küçük farklılık fabrikasyon sürecinde oluşan muhtemel hatalardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca deneysel spektrumun bant-genişliği teorik hesaplara göre daha büyük olmasının nedeni U şekilli nano-antenlerin altın yüzeyinin nispeten pürüzlü olması gelen ışığı saçmasından kaynaklanmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada kompakt U şeklindeki nano antenlere dayanan iki rezonanslı metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu sunulmuştur. Benzetimi gerçekleştirilen MS' nin soğurum tepkisi nümerik olarak (% 99,4 - % 98,5), deneysel olarak (% 95 - % 85) gösterilmiştir. Rezonans modları, antenlerin yapısal parametreleri değiştirilerek kolayca istenilen frekanslara ayarlanabilmektedir. Orta IR bölgesinden görünür dalga boylarına veya THz bölgeye kadar ayarlanabilir rezonanslara sahip bu tür metamalmeler, aktif filtreler, optik modülatörler ve biyo-sensörler dahil üzere çip tabanlı frekans seçici optik cihazlar için geniş kapsamlı sonuçlara sahip olabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesinde destek veren Karamanoğlu Mehmetbey ve Boston Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

Kaynakça

- A. Degiron, H. N. (2004). Optical transmission properties of a single subwavelength aperture in a real metal. *Optics Communications*, 61-66.
- Ahmet Ali Yanik, X. W. (2008). Extraordinary midinfrared transmission of rectangular coaxial nanoaperture arrays. *Appl. Phys. Lett.*, 93, 081104.
- Alexander Belushkin, F. Y. (2018). Nanoparticle-Enhanced Plasmonic Biosensor for Digital Biomarker Detection in a Microarray. *ACS Nano*, 12 (5), 4453–4461.
- Arif E. Cetin, S. K. (2016). Quantification of Multiple Molecular Fingerprints by Dual-Resonant Perfect Absorber. *Adv. Optical Mater.*, 4, 1274–1280.
- Biagioni, T. T. (2019). Semiconductor infrared plasmonics. *Nanophotonics*, 8 (6), 949–990.
- Bowen Li, S. Z. (2017). Single-Nanoparticle Plasmonic Electro-optic Modulator Based on MoS₂ Monolayers. *ACS Nano*, 11 (10), 9720–9727.
- C. M. Soukoulis, S. L. (2007). “Physics. Negative refractive index at optical wavelengths, . *Science*, 315 (5808), 47-49.
- Cameron Gilroy, S. H. (2019). Roles of Superchirality and Interference in Chiral Plasmonic Biodetection. *J. Phys. Chem. C*, 123 (24), 15195–15203.
- Deepak Sood, C. C. (2017). A polarization insensitive compact ultrathin wide-angle penta-band metamaterial absorber. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 31 (4), 394-404.
- Grisha Spektor, A. D. (2015). Metafocusing by a Metaspiral Plasmonic Lens. *Nano Lett.*, 15 (9), 5739–5743.
- Khwanchai Tantiwanichapan, X. W. (2017). Graphene terahertz plasmons: A combined transmission spectroscopy and Raman microscopy study. *ACS Photonics*, 4 (8), 2011-2017.
- Luc Duempelmann, A. L.-D. (2016). Four-Fold Color Filter Based on Plasmonic Phase Retarder. *ACS Photonics*, 3 (2), 190–196.
- N. I. Landy, S. S. (2008). Perfect metamaterial absorber. *Phys. Rev. Lett.*, 100, 207402.
- Palik, E. D. (1985). *Handbook of Optical Constants of Solids*. Orlando, FL: Academic.
- Rana Sadaf Anwar, H. N. (2018). Recent advancements in surface plasmon polaritons-plasmonics in subwavelength structures in microwave and terahertz regimes. *Digital Communications and Networks*, 4 (4), 244-257.
- Seon-Young Rhim, G. L.-K. (2020). Using Active Surface Plasmons in a Multibit Optical Storage Device to Emulate Long-Term Synaptic Plasticity. *Physica status solidi*, 217 (20), 2000354.
- Ting Xie, Z. C. (2017). A wide-angle and polarization insensitive infrared broad band metamaterial absorber. *Optics Communications*, 383, 81-86.
- Tsai, M.-W. &.-H.-Y.-c.-2. (2006). Bragg scattering of surface plasmon polaritons on extraordinary transmission through silver periodic perforated hole arrays. *Applied Physics Letters*, 88, 213112.
- Wang Xin, Z. B. (2017). Design, Fabrication, and Characterization of a Flexible Dual-Band Metamaterial Absorber. *IEEE Photonics Journal*, 9 (4), 1-12.
- Yakov Galutin, E. F. (2017). Invisibility Cloaking Scheme by Evanescent Fields Distortion on Composite Plasmonic Waveguides with Si Nano-Spacer. *Scientific Reports*, 12076.

- Yasa Ekşioğlu, A. E. (2018). Multi-band plasmonic platform utilizing UT-shaped graphene antenna arrays. *Plasmonics* , 13 (3), 1081-1088.
- Zhi Hao Jiang, S. Y. (2011). Conformal Dual-Band Near-Perfectly Absorbing Mid-Infrared Metamaterial Coating. *ACS Nano* , 5 (6), 4641–4647.



Dijital Ortamda Sanal Para ile Gerçekleştirilen E-Spor Faaliyetlerinin TMS/TFRS Kapsamında Muhasebeleştirilmesine İlişkin Bir Yaklaşım

Feden Koç^{1*}

^{1*} Uşak Üniversitesi, Karahallı Meslek Yüksekokulu, Büro Yönetimi ve Yönetici Asistanlığı Bölümü, Uşak, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4413-5188), feden.koc@usak.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.893280)

ATIF/REFERENCE: Koç, F., (2021). Dijital Ortamda Sanal Para ile Gerçekleştirilen E-Spor Faaliyetlerinin TMS/TFRS Kapsamında Muhasebeleştirilmesine İlişkin Bir Yaklaşım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 34-42.

Öz

Tüm dünyada teknoloji alanında yaşanan hızlı gelişmelere paralel olarak yaygınlaşan internet kullanımı, spor alanındaki müsabakalara da yeni bir boyut kazandırmıştır. Bu bağlamda elektronik spor, kısaca e-Spor olarak da nitelendirilebilen bu faaliyet katılımcıların dijital ortamda online katılımıyla gerçekleştirilen bir spor müsabakasıdır. Dünyada yoğun ilgi gören e-Spor Türkiye’de de sayıca büyük bir kullanıcı kitlesi yakalamayı başarmıştır. Ücretli e-Spor oyunlarında kullanılan ödeme seçeneklerinden birisi olarak ödemenin dijital ortamda sanal para ile gerçekleştirilmesi bu işlemlerin TMS/TFRS’ye göre kayıt altına alınmasında, Türkiye’de sanal paraya ilişkin düzenlemelerinde göz önünde bulundurulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda çalışmada dijital ortamda gerçekleşen e-Spor faaliyetlerinde ödemenin sanal para ile gerçekleştirilmesi durumunda, ilgili işlemlerin TMS/TFRS’ye uygun olarak maddi olmayan duran varlıklar hesap başlığı altında değerlendirilmesi konusuna açıklık getirilmesi ve ilgili işlemlerin muhasebeleştirilmesine ilişkin örnek muhasebe kayıtlarının sunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sanal Para, E-Spor, Dijital oyun, Türkiye Muhasebe Standartları/Türkiye Finansal Raporlama Standartları (TMS/TFRS), Elektronik Spor Faaliyetlerinin Muhasebeleştirilmesi.

An Approaches to Accounting of E-Sports Activities with Virtual Money in the Digital Environment within the Scope of TAS/TFRS

Abstract

The use of the Internet, which has spread all over the world in parallel with the rapid developments in the field of technology, has also given a new dimension to competitions in the field of sports. In this context, this activity, which can also be referred to as electronic sports, or e-sports, is a sporting competition that takes place in the digital environment with online participation of the participants. E-sports, which is attracting a lot of attention in the world, has managed to capture a large user base in Turkey as well. As one of the payment options used in paid e-sports games, payment in the digital environment with virtual money requires that these transactions be considered in the regulations regarding virtual money in Turkey when recording these transactions according to TAS / TFRS. In this context, in this study, it is aimed to clarify the subject of evaluating the related transactions under the intangible fixed assets account heading in accordance with TAS / TFRS and presenting sample accounting records for the accounting of the relevant transactions in case of payment made with virtual money in e-Sports activities realized in digital environment.

Keywords: Virtual Money, E-Sport, Digital Game, Turkey Accounting Standards/Turkey Financial Reporting Standards (TAS/TFRS), Accounting of Electronic Sports Activities.

* Sorumlu Yazar: fedem.koc@usak.edu.tr

1. Giriş

Günümüz bilgi çağında bilişim teknolojilerinin yaygın olarak kullanılmaya başlanması ve spor faaliyetlerinin dijital ortama taşınması ile birlikte, e-Spor faaliyetlerinin kullanıcı sayısı tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de gün geçtikçe artmaktadır. Dünya çapında yaklaşık olarak yüz milyon oyuncunun aktif olarak oynadığı tahmin edilen e-Spor, insan-bilgisayar etkileşimi yoluyla video oyunu yarışmalarında bireylerin veya ekiplerin mücadelelerini kapsamaktadır (Braun vd., 2016, Griffiths vd., 2003; Seo, 2016; Seo ve Jung 2016). E-Sporlar genellikle farklı ligler ve turnuvalar tarafından koordine edilen ve genel itibarıyla oyuncuların çeşitli ticari kuruluşların sponsorluğundaki takımlara ait olan profesyonel ve amatör video oyunlarına atıfta bulunmaktadır (Warr, 2014). E-Spor, bir oyuncunun avatarının ve takım tabanlı olarak, rakipleri ile mücadele etmesi ve hedefe ulaşması sürecinin sanal bir ortamda gerçekleştirilmesine dayanmaktadır. Sanal ortamda gerçekleştirilen e-Spor’da oyuncu başarı sağlamak amacıyla öngörü, sezgi, kalıp hatırlama, görsel arama davranışı ve hızlı karar verme gibi algısal ve bilişsel yetenekleri ile klavye ve fare hareketleri gibi alana özgü becerilerini birleştirme ihtiyacı duymaktadır (Pluss vd., 2019). Oyuncuların tüm bu becerilerini kullanarak dijital ortamda insan bilgisayar etkileşimi yoluyla oynadıkları bu oyunun, gerçekte bir spor olarak kabul edilip edilemeyeceği konusu ise hala tartışılmaya devam edilmektedir. E-Spor’un gerçekte bir spor olarak kabul edilmesine karşı gösterilen bu direncin nedeni, e-Spor oyuncularının geleneksel spor oyuncusunun aksine oturarak oyun oynamalarından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda oyuncuların spor yeteneklerinin fiziksel becerilerinin ölçülemediğine inanılmaktadır (Taylor ve Witkowski, 2010; Witkowski, 2009; Witkowski, 2012). E-Spor’a ilişkin yukarıda sunulmuş bilgilere ek olarak, e-Spor oyunlarında ödeme ve tahsilatlar nakit, kredi kartı, mobil ödeme, kredi kartı ile entegre mobil cihazlar ve sanal para ile gerçekleştirilebilmektedir (Ankara Kalkınma Ajansı Raporu, 2016). Ödeme ve tahsilatların gerçekleştirilmesinde sanal para dışındaki seçeneklerin kullanılması bu işlemlerin takibini ve muhasebeleştirilmesini kolaylaştırmakta iken, bu oyunlarda ödeme aracı olarak sanal paranın kullanılması bu işlemlerin takibini ve muhasebeleştirilmesini de zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda e-Spor’un dijital ortamda fiziksel paraya alternatif olarak sanal para

ile de gerçekleştiriliyor olması, bu faaliyetlerin TMS/TFRS’ye uygun olarak nasıl muhasebeleştirileceği konusunda sanal para kavramının da irdelenmesini gerektirmektedir.

Gerçek ve tüzel yatırımcıların olduğu kadar bazı devletlerin de ilgi gösterdiği sanal paralar, merkezi bir otoriteye bağlı olmamaları ve fiziksel bir yapıya sahip olmamaları bakımından bu paralar ile gerçekleştirilen işlemlerin takibinde şeffaflık sağlanamamaktadır. Dolayısıyla günümüz bilgi çağında sanal para birimlerinin, elektronik ortamda gerçekleştirilen ödemelerde yaygın olarak kullanılmaya başlandığı bu süreçte bazı ülkeler farklı sanal para birimlerini tanıma yoluna giderek bu konuya ilişkin yasal düzenlemelere odaklanırken, bazı ülkeler ise sanal paraya ilişkin sorunları görmezden gelmektedirler. Sanal paralara ilişkin yasal bazı düzenlemeler gerçekleştiren ve fiziksel bir yapıya dayanmayan bu paraların takibini sağlayabilmek amacıyla merkezi bir sistem arayışına giren ülkelerde ve bu paraların muhasebeleştirilmelerine ilişkin, bazı yaklaşımlar da öne sürülmektedir. Bu bağlamda Türkiye’de sanal paralara ilişkin yasal düzenlemeler T.C. Merkez Bankası, Sermaye Piyasası Kurulu ve Maliye Bakanlığı kurumları tarafından çalışılmaktadır. Türkiye’de mevcut vergi kanunları ve ticaret kanununun yanı sıra özellikle TMS/TFRS açısından yapılan değerlendirmeler neticesinde sanal paraların muhasebeleştirilmesinde sunulan öneriler 3 grupta toplanmıştır. Buna göre sanal paranın bir varlık olarak kullanım amacı belirlendikten sonra bir nakit, bir finansal yatırım aracı veya bir emtia olarak kabul edilmeleri durumunda nakit ve nakit benzeri, finansal araç veya maddi olmayan duran varlık olarak kabul edilerek muhasebe kayıtlarına alınması önerilmiştir (Karaçalı, 2019). Fakat UFRS yorumlama komitesi tarafından 21 Haziran 2019 tarihli “Holdings of Cryptocurrencies” adlı toplantısında, sanal paranın nakit ve nakit benzeri varlık ile finansal araç olarak kabul edilemeyeceğine yönelik değerlendirme yapılmıştır. Dolayısıyla bu değerlendirmeler neticesinde sanal paranın muhasebeleştirilmesinde, en uygun yaklaşım sadece dijital ortamda kullanılabilen bu paranın maddi olmayan duran varlık olarak değerlendirilmesidir.

Tablo 1’de e-Spor ve e-Spor faaliyetlerinin muhasebeleştirilmesinde esas alınan ödeme araçlarından birisi olan sanal paraya ilişkin literatürde yer alan bazı çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar listelenmiştir.

Tablo 1. E-Spor ve Bu Faaliyetlerin TMS/TFRS’ye Uygun Olarak Muhasebeleştirilmesinde Esas Alınan Sanal Para ile İlişkili Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar ve Bu Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Yazarlar	Yıl	Çalışmanın amacı	Çalışmadan elde edilen sonuçlar	Atıf
Abbas, Basim Khudhair & Jasim, Israa Asaad & Nsaif, Waseem Saad	2019	Çalışmanın amacı dünyada elektronik spor endüstrisinin ve önemli elektronik spor başarılarının karşılaştırmalı bir analizini gerçekleştirmektir.	Günümüzde League of Legends, Counter-Strike ve Overwatch gibi en popüler e-Spor oyunlarının temeli beceriye dayalı rekabete dayanmaktadır. Bu oyunlar belirli rollerde ustalaşanlar ve derinlemesine oyun bilgisi edinenlerin ödüllendirilmesi için tasarlanmıştır. Profesyonel olmayan oyuncular için çevrimiçi turnuva platformlarına çok sayıda yatırım yapılmıştır.	(Abbas, vd., 2019: 144-153)
Pluss, Matthew A. & Bennett, Kyle J. M. & Novak, Andrew R. & Panchuk, Derek & Coutts, Aaron J. & Fransen, Job	2019	Çalışmada elektronik sporların, insan uzmanlığının geliştirilmesine ilişkin bir fırsat sunup sunmadığı değerlendirilmektedir.	Elektronik performansta, uzman performans yaklaşımını uygulamanın avantajları şunlardır; (i) geliştirme faaliyetleri objektif olarak izlenir ve çevrimiçi ortamda otomatik kaydedilir, (ii) temsili görevlerin kısıtlamaları, e-Spor performansının gerçek dünya ortamına karşılık gelir (iii) uzmanlık olmadan ortaya çıkmıştır.	(Pluss vd., 2019: 1-5)

<i>Hallmann, Kirstin & Giel, Thomas</i>	2018	Çalışmanın amacı e-Spor'un bir spor olarak kabul edilip edilemeyeceğini değerlendirmektir.	E-spor faaliyetlerini henüz bir spor olarak değerlendirmek mümkün olmamakla birlikte e-Spor'un bir spor haline gelme potansiyeli bulunmaktadır. Çalışma kapsamında Pazarlamacıların ve yöneticilerin e-Sporlara katılabilmeleri konusunda farklı fırsatlar özetlenmiştir.	(Hallmann ve Giel 2018: 14-20)
<i>Macey, Joseph & Hamari, Juho</i>	2018	Çalışmanın amacı kumar etkinliği ile video oyunlarının tüketimi ile e-Spor arasındaki ilişkileri araştırmaktır.	Video oyunu bağımlılığının çevrimiçi ve çevrimdışı kumarla olumsuz bir şekilde ilişkili olduğu belirlenmiştir. E-Spor tüketiminin, çevrimiçi kumar ve sorunlu kumarla küçük ila orta düzeyde ilişkili olduğu saptanmıştır.	(Macey ve Hamari 2018: 344-353)
<i>Hamari, Juho & Sjöblom, Max</i>	2017	Çalışmanın amacı insanları e-Spor'u internette izlemeye yönlendiren etmenleri belirlemektir.	Sonuçlar, kaçış, oynanan oyunlar hakkında bilgi edinme, yenilik ve e-Spor saldırganlığının e-Spor izleme sıklığını etkilediğini göstermektedir.	(Hamari ve Sjöblom, 2017: 211-232)
<i>Seo, Yuri</i>	2013	Çalışmanın amacı e-Spor kavramının rekabetçi oyun deneyimine dayalı perspektifini geliştirerek, e-Spor'un deneysel değerinin nasıl ortaya çıktığını irdelemektir.	E- Spor faaliyetlerinin geliştirilmesinde ve bu faaliyetlerin sürdürülmesinde oyun şirketlerinin, oyuncuların, çevrimiçi toplulukların, yönetim organlarının ve diğer paydaşların işbirlikleri önemli rol oynamaktadır.	(Seo, 2013: 1542-1560)
<i>Lee, Donghun & Schoenstedt, Linda J.</i>	2011	Çalışmanın amacı e-Spor oyunlarında harcanan zamanı etkileyen motivasyon faktörlerini araştırmaktır. Bu kapsamda 515 üniversite öğrencisi ve atletik etkinlik katılımcısından oluşan örneklem kullanılarak, e-Spor oyun modelleri ve geleneksel spor aktiviteleri (oyuna katılım, spor izleyicileri, spor okuyucuları, spor dinleyicileri, spora özgü İnternet kullanımı) ile ilgili veriler toplanmıştır.	Hedef kitlelerin tüketim davranışlarını belirli e-Spor oyunlarına yönlendiren mesajlar geliştirmek, pazarlamacıların daha büyük pazar payı yakalayabilmeleri konusunda katkı sağlayabilmektedir. Rekabet ve beceriye olan ilgi e-Spor oyuncuları için kritik önem taşımaktadır. Bu kapsamda pazarlamacılar, oyuncuların birbirleriyle rekabet etmeleri için kazanana somut ödüller verebilirler. Akran baskısının kullanılması oyun oynamak için bir başka motivasyon faktörüdür.	(Lee ve Schoenstedt 2011: 39-44)
<i>Pelucio-Grecco, Marta Cristina & Santos Neto, Jacinto Pedro dos & Constançio, Diego</i>	2020	IFRS'ye uygun olarak, sanal paraların muhasebeleştirilmesi ile ilgili öneriler sunarak ve bunların ana vergi yönlerini analiz etmek amaçlanmıştır.	Sanal paraların özelliklerinin belirlenmesi ve IFRS yönergeleri doğrultusunda, sanal paraların muhasebeleştirilmesinde yabancı para prosedürünün uygulanması önerilmektedir. Ancak Brezilya Milli Gelir İdaresi veya Amerika Birleşik Devletleri'nin İç Gelir Servisi, sanal paraların para birimi olarak değil mal olarak ele alınarak muhasebeleştirilmesini önermektedir.	(Pelucio vd., 2020: 275-282)
<i>Stancheva, Eleonora</i>	2019	Sanal paraların muhasebeleştirilmesine ışık tutmak amaçlanmıştır.	Muhasebe düzenleyicileri ve standart belirleme organlarının, sanal paralara ilişkin sorunları benimseyerek, sanal paraların muhasebeleştirilmesini şekillendirmelidirler.	(Stancheva 2019: 1-17)
<i>Procházka, David</i>	2018	Sanal paraların muhasebeleştirilmesinde, IFRS kapsamında potansiyel muhasebe modellerini karşılaştırarak en uygun modelin önerilmesi amaçlanmıştır.	Gerçeğe uygun değer muhasebesi, kripto para birimlerinin raporlanmasında en uygun yöntemdir.	(Procházka, 2018: 161-188)

Çalışma kapsamında dijital ortamda sanal para üzerinden gerçekleştirilen e-Spor faaliyetlerinin TMS/IFRS'ye uygun olarak muhasebeleştirilmesi konusunun incelenmesi ile sağlanacak katkıların bahsedilmesinde fayda vardır. Bu çalışmanın oluşturulması ile sağlanacak katkılar aşağıda sunulmuştur.

- E-Spor kavramı açıklanarak, bu faaliyetlerin genel yapısı ve unsurları incelenmiştir. E-Spor'un geleneksel spor ile farklarının da ele alındığı bu çalışmada ayrıca 2019 yılında en çok kazanç sağlayan ücretli ve ücretsiz e-Spor oyunlarına, 2020 yılında en çok ödül dağıtan ilk on e-Spor oyununa ve 2020 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde e-Spor oyunlarından en yüksek kazanç

sağlayan ilk on e-Spor oyuncusuna ilişkin bilgiler de sunulmuştur.

- E-Spor faaliyetlerine ilişkin dijital ortamda kullanılan ödeme araçlarından birisi olarak sanal paranın kullanılması halinde, TMS/IFRS'ye uygun olarak düzenlenmiş hesap planı çerçevesinde, sanal paranın maddi olmayan duran varlık olarak değerlendirilmesi durumunda bu faaliyetlerin nasıl muhasebeleştirilmesi gerektiği konusuna açıklık getirilmiştir.

Yapılan yerli ve yabancı literatür taraması neticesinde sanal para ile gerçekleştirilen e-Spor faaliyetlerinin TMS/IFRS'ye uygun olarak muhasebeleştirilmesine ilişkin herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla oluşturulmuş bu çalışma

ile dijital ortamda sanal para ile gerçekleştirilen e-Spor müsabakaları kapsamındaki işlemlerin TMS/TFRS'ye uygun olarak hangi hesap başlıkları altında sunulabileceğine ilişkin açıklamalar ve nasıl muhasebeleştirilebileceğine ilişkin örnek muhasebe kayıtları sunularak, e-Spor faaliyetlerinin, standartlara uygun olarak maddi duran varlıklar kapsamında muhasebeleştirilmesi konusuna açıklık getirilmesi ile literatürde bu alandaki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

2. E-Spor Kavramı ve E-Spor'un Genel Yapısı

Bu başlık altında dijital ortamda gerçekleştirilen e-Spor faaliyetlerine ilişkin kavramsal tanımlamalar sunularak, e-Spor faaliyetlerinin genel yapısı değerlendirilmiştir.

2.1. E-Spor Kavramı

Günümüz bilgi çağında internet kullanımına paralel olarak sosyal ve kültürel gibi daha birçok alanda yaşanan değişimler oyun sektöründe de etkisini göstermektedir. Bu bağlamda oyunların dijital ortama taşınması ile birlikte karşımıza çıkan kavramlardan birisi olan ve bu çalışmanın konusunu oluşturan, insan bilgisayar etkileşimi yolu ile gerçekleştirilen e-Spor'a ilişkin literatürde birçok tanımlama bulunmaktadır. Bu tanımlamalara katkı sağlayanlardan Wagner (2006) e-Spor'u "insanların bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak zihinsel ve fiziksel yeteneklerini geliştirdikleri ve eğittikleri, spor etkilerinin yapıldığı bir alandır" şeklinde tanımlamıştır. Warr (2014) e-Spor'u "sporun birincil yönlerinin elektronik ortamda kolaylaştırıldığı, oyuncuların ve takımların girdilerinin yanı sıra insan-bilgisayar arayüzleri ile e-Spor sisteminin çıktısına aracılık edildiği bir spor türüdür" şeklinde tanımlamıştır. Başka bir tanımlamada Pluss vd., (2019) e-Spor'u "insan-bilgisayar etkileşimi yoluyla video oyunu yarışmalarında bireyler ve/veya oyuncu ekiplerinin rekabetçi etkileşimidir." Şeklinde tanımlamıştır.

E-Spor kavramına ilişkin yukarıda sunulmuş tanımların genel bir değerlendirmesi yapıldığında e-Spor'u, oyuncuların bireysel ve takım olarak, dijital ortamda insan-bilgisayar etkileşimi yoluyla bilişsel ve alana özgü yeteneklerini kullanarak rekabet ettikleri oyun olarak tanımlamak mümkündür.

2.2. E-Spor'un Genel Yapısı

E-Spor genel yapısı itibariyle takımlar, etkinlikler, oyuncular ve ligler olmak üzere 4 temel ana unsurdan oluşmaktadır. Ayrıca e-Spor oyunlarını kapsamlarına göre amatör rekabetçi oyunlar ve profesyonel rekabetçi oyunlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Aşağıda Şekil 1'de dijital ortamda oynanan e-Spor'un, genel yapısına ilişkin bir görsel sunulmuştur.



Kaynak: (Warman, 2017'den uyarlanmıştır.)

Şekil 1. Dijital Ortamda Gerçekleştirilen E-Spor'un Genel Yapısı

Geleneksel spor ile karşılaştırıldığında e-Spor'un bir spor olarak kabul edilmediği belirli bir kesime karşın, e-Spor'un neden bir spor olarak değerlendirilmesi gerektiği, sporun ana koşulları değerlendirilerek incelenmelidir. Bir aktivitenin spor olarak kabul edilebilmesi için gerekli olan altı koşul bulunmaktadır. Bu koşullar insan, fiziksel aktivite, beceri, yarışma, kural tarafından yönetilme ve kurumsallaşmadır. Bir aktivitenin spor olarak değerlendirilebilmesi için gerekli olan koşullar aşağıda açıklanmıştır (Parry, 2019);

İnsan: Spor insanlar tarafından gerçekleştirilen bir girişimdir. Dolayısıyla dijital ortamda gerçekleştirilen e-Spor faaliyetlerinde kontrolün insanlarda bulunması dolayısıyla, e-Spor'u de bu kriter açısından spor olarak değerlendirmek mümkündür.

Fiziksel hareket: Spor, gerçek fiziksel hareketin bir sonuç üretmesi anlamında fizikseldir. Dolayısıyla e-Spor'da oyuncular gerçek bir fiziksel harekete alternatif olarak bu hareketi kendileri adına bilgisayara yaptırdıkları ve bu esnada fiziksel fikirlerini kullandıkları için e-Spor'u da bir spor olarak değerlendirmek mümkündür (Bradley, 2017; Butler, 2017)

Beceri: Tüm sporlar, insanın fiziksel becerisini kullanmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla e-Spor da oyuncular öngörü, hızlı karar verme, bilgisayar kullanabilme gibi algısal ve bilişsel yeteneklerinin yanı sıra klavye ve fare hareketleri gibi alana özgü becerilerini kullandıkları için e-Spor'u bir spor olarak değerlendirmek mümkündür.

Yarışma: Tüm sporlar bireylerin veya takımların mücadelesi üzerine kurgulanmıştır. Dolayısıyla e-Spor oyunları da aynı temele dayandığından bu oyunları da spor olarak değerlendirmek mümkündür.

Kural tarafından yönetilme: Tüm sporlar önceden belirlenmiş bazı kurallara bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla bu bağlamda e-Spor da dijital ortamda başlangıçta belirlenmiş kurallardan yönetildiği için spor olarak değerlendirilmek mümkündür.

Kurumsallaşma: Spor, kurumsallaşmış bir yapıda, insanların fiziksel becerilerinin kurallarla yönetildiği yarışmalardır. Dolayısıyla dijital ortamda gerçekleştirilen e-spor faaliyetlerinin bir kısmının kurumsallaştırılmış bir yapıda olduğu ve bir kısmına ilişkin ise hala kurumsallaştırma çabalarının devam ettiği göz önünde bulundurulduğunda e-Spor'un bu kriter

açısından kısmen spor olarak değerlendirildiğini söylemek mümkündür.

E-spor'un spor olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğine ilişkin yukarıda sunulmuş sporun ana koşullarının değerlendirilmesi sonucunda, e-Spor'un tamamen kurumsallaşmasına ilişkin çabaların hala devam ettiği göz önünde

bulundurularak e-Spor'un bir spor olarak değerlendirilebileceğini söylemek mümkündür. Aşağıda Tablo 2'de 2019 yılında en çok kazanç sağlamış olan e-spor oyunlarının ücretli ve ücretsiz olması bakımından kategorize edilmiş bir listesi sunulmuştur.

Tablo 2. 2019 Yılında En Çok Kazanç Sağlayan Ücretli ve Ücretsiz E-Spor Oyunları

En Çok Kazanç Sağlayan Ücretli e-Spor Oyunları		En Çok Kazanç Sağlayan Ücretsiz e-Spor Oyunları	
E-Spor Oyununun İsmi	Kazanç (Milyon \$)	E-Spor Oyununun İsmi	Kazanç (Milyar \$)
FIFA 19	786 milyon \$	Fortnite	1,8 milyar \$
Call of Duty: Modern Warfare	645 milyon \$	Dungeon Fighter Online	1,6 milyar \$
Grand Theft Auto V	595 milyon \$	Honour of Kings	1,6 milyar \$
FIFA 20	504 milyon \$	League of Legends	1,5 milyar \$
Call of Duty: Black Ops III	487 milyon \$	Candy Crush Saga	1,5 milyar \$
NBA 2K19	370 milyon \$	Pokemon Go	1,4 milyar \$
Tom Clancy's The Division 2	370 milyon \$	Crossfire	1,4 milyar \$
Tom Clancy's Rainbow Six: Siege	358 milyon \$	Fate/Grand Order	1,2 milyar \$
Borderlands 3	329 milyon \$	Game for Peace	1,1 milyar \$

Kaynak: (Kılınç, 2019)

Yukarıdaki tabloda sunulmuş verilere göre 2019 yılında en çok kazanç sağlayan ücretli e-Spor oyununun 786 milyon dolar kazanç

ile FIFA 19 olduğu ve en çok kazanç sağlayan ücretsiz e-Spor oyununun 1,8 milyar dolar ile Fortnite olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 2020 Yılında En Çok Ödül Dağıtan İlk On E-Spor Oyununa İlişkin Bilgiler

E-Spor Oyununun İsmi	Dağıtılan Toplam Ödül (\$)	Turnuva Sayısı
Dota 2	229.321.216,55	1471
Counter-Strike: Global Offensive	107.312.324,93	5419
Fortnite	99.362.917,41	673
League of Legends	81.669.988,72	2482
StarCraft II	34.388.574,78	6061
Overwatch	26.049.333,28	743
Playerunknown's Battlegrounds	24.856.303,57	304
Hearthstone	24.151.978,24	902
Heroes of the Storm	18.188.482,65	475
Arena of Valor	15.228.710,62	51

Kaynak: (<https://www.esportsearnings.com/>)

Yukarıda Tablo 3'te sunulmuş veriler incelendiğinde, 2020 yılında düzenlenmiş 1471 turnuva ile en çok ödül dağıtan e-Spor oyununun Dota 2 olduğu ve bu oyun ile dağıtılan toplam ödülün 229.321.216,55 dolar olduğu görülmektedir. 2020 yılında en çok ödül dağıtan E-spor oyunları düzenlenen turnuva sayısı açısından sıralandığında ise Dota 2, E-spor oyunu dördüncü sırada yer almaktadır. Turnuva sayısı açısından ilk üç sırada ise sırasıyla StarCraft II, Counter-Strike: Global Offensive, League of Legends E-spor oyunları yer almaktadır.

Dijital ortamda sanal para ile gerçekleştirilen e-Spor faaliyetlerinin muhasebeleştirilmesinde kullanılacak usul ve esasların, geleneksel spor faaliyetleri dolayısıyla fiziksel para ile oluşan işlemlerin muhasebeleştirilmesinden çok farklı olmayacağı düşünülse de e-Spor'un dijital ortamda gerçekleştirilmesi ve ödeme/taahhütün sanal para ile

gerçekleştirilmesi durumunda, TMS/TFRS kapsamında sanal para kavramının da incelenmesini gerekli kılmaktadır.

3. TMS/TFRS Kapsamında Maddi Olmayan Duran Varlıklar ve Sanal Para

Sanal para, dijitalleşme ile birlikte fiziksel paraya alternatif olarak geliştirilmiş olan hukuksal bir güvence sağlamamakla birlikte, merkezi bir mekanizma tarafından kontrol edilemeyen, sadece internet aracılığıyla mülkiyeti el değiştirebilmesine karşın, itibari para cinsinden ifade edilemeyen para olarak tanımlanabilir. Sanal para kullanıcılara ek bir gelir sağlaması ve fiziksel paraya göre daha hızlı el değiştirebilmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk olarak sanal ortamda harcama yapmak

amacıyla ortaya çıkarılmış olan sanal paranın kullanım alanı zaman içerisinde gelişim göstermiş ve günümüzde elektronik ortamda gerçekleştirilen hemen hemen tüm işlemlerde kullanılır hale gelmiştir.

Sanal paranın işlevi gerçek bir metaya dayalı fiziksel paraya benzemekle birlikte aralarında belirgin bazı farklar da bulunmaktadır. Sanal parayı fiziksel paradan ayıran farkları bu

paraların itibari değeri olmayan hayali bir para olması, sanal topluluklar tarafından kabul gören kurallara dayanması ve sunucular tarafından otomatik olarak yaratılması olarak sıralanabilir (Guo ve Chow, 2008). Aşağıda Tablo 4’te Avrupa Merkez Bankasına ilişkin para kategorizasyonunu gösteren bir para matrisi sunulmuştur. Bu para matrisine göre sanal paralar dijital para birimi olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Avrupa Merkez Bankasına Göre Para Matrisi

Yasal Statü	Para Formatı	
	Yasa ile Düzenlenmiş	Fiziksel	Dijital
	Yerel para birimlerinin belirli türleri	Sanal para birimi
Yasa ile Düzenlenmemiş	Banknot ve madeni paralar	E- para
		Ticari banka paraları

Kaynak: (European Central Bank, 2012: 11)

Sanal paranın tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de yaygın olarak kullanılmaya başlanması, bu işlemlere yönelik olarak, yasal bir alt yapının oluşturulmasına duyulan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda elektronik para ile ilgili esasları düzenlemek amacıyla, 27.06.2013 tarihinde 28690 Sayılı “Ödeme ve Menkul Kıymet Mutabakat Sistemleri, Ödeme Hizmetleri ve Elektronik Para Kuruluşları Hakkında Kanun” çıkarılmıştır (Resmî Gazete, 28690 Sayılı Kanun). Ancak bu kanun kapsamında, sanal para bir elektronik para olarak değerlendirilmemiştir. Bununla birlikte Türkiye’de uygulanmakta olan muhasebe ve finansal raporlama standartları ve UFRS yorumlama komitesinin 21 Haziran 2019 tarihli “Holdings of Cryptocurrencies” adlı toplantısında alınan karar gereğince sanal paraları nakit ve nakit benzeri varlık ve finansal yatırım olarak değerlendirmek mümkün değildir. Bununla birlikte en uygun yaklaşım sanal paranın maddi olmayan varlık olarak muhasebeleştirilmesi olmakla birlikte bu konudaki değerlendirmeler halen devam etmekte ve sanal para ile gerçekleştirilen ödeme ve tahsilatların nasıl muhasebeleştirileceğine ilişkin kesin bir düzenleme bulunmamaktadır (Aslantın, 2016; Raiborn ve Sivitanides, 2015). Aşağıda öncelikle TMS/TFRS kapsamında maddi olmayan duran varlıklar incelenmiş akabinde ise dijital ortamda kullanılabilen sanal paranın maddi duran varlıklar ile ilişkisi incelenmiştir.

3.1. TMS/TFRS Açısından Maddi Olmayan Duran Varlıkların Kapsamı

Maddi olmayan duran varlık TMS/TFRS’de, fiziksel niteliği bulunmayan ancak tanımlanabilen duran varlıklar olarak ifade edilmiştir (KGK, Finansal Tablo Örnekleri ve Kullanım Rehberi). Bu standart bilgisayar yazılımı, isim hakları, patentler, telif hakları, sinema filmleri, ithalat kotaları, müşteri listeleri, müşteri ve tedarikçi ilişkileri, ipotek hizmeti sunma hakları, müşteri

sadakati, pazar payı ve pazarlama hakları vb. kapsamaktadır (TMS 38 Paragraf 9). Bu tanımlama doğrultusunda bir maddi olmayan duran varlık sadece maddi olmayan duran varlık ile ilişkilendirilen, beklenen, gelecekteki ekonomik yararların işletme için gerçekleşmesinin muhtemel olması ve maddi olmayan duran varlığın maliyetinin güvenilir şekilde ölçülebilmesi halinde muhasebeleştirilmektedir. Bu bağlamda TMS/TFRS’ye göre duran varlıklar hesap sınıfı içerisinde yer alan, şerefiye ve maddi olmayan duran varlıklar hesap grubunda sunulan hesap başlıkları aşağıda sunulmuştur (KGK, Finansal Raporlama Standartlarına Uygun Hesap Planı Taslağı);

- “260 Şerefiye,
- 261 Haklar,
- 262 İşletme Dışından Elde Edilmiş Diğer Maddi Olmayan Duran Varlıklar,
- 263 İşletme İçinde Oluşturulmuş Maddi Olmayan Duran Varlıklar,
- 264 Geliştirme Maliyetleri,
- 265 Maden Kaynakları Arama ve Değerlendirme Varlıkları,
- 266 Diğer Maddi Olmayan Duran Varlıklar,
- 267 Maddi Olmayan Duran Varlıklar Değer Düşüklüğü Karşılıkları (-),
- 268 Birikmiş Amortismanlar (-),
- 269 Verilen Avanslar”.

Yukarıda sunulmuş maddi duran varlıklara ilişkin hesap başlıkları incelendiğinde, TMS/TFRS Taslak Hesap Planının sanal parayı da kapsayacak şekilde genişletilmesi ve bu doğrultuda güncellenmesine duyulan ihtiyaç açıkça görülmektedir.

Maddi olmayan duran varlıkların değerlemesinde ise standartlara göre maliyet modeli veya yeniden değerlendirme modelinden birisi esas alınmakta olup, standartlar maddi olmayan duran varlıkların yeniden değerlendirilmesinde GUD ölçüsünü esas almakta ve yeniden değerlemeye ilişkin olumlu veya olumsuz fark tutarını, özkaynaklar hesap grubu altında yeniden değerlendirme

fonunda raporlamaktadır. Maddi olmayan duran varlıkların teşvikli alımlarında ise GUD ölçüsü ile değerlendirilmektedir. Bununla birlikte standartlarda piyasa değeri ile teşvikli bedel arasındaki fark ertelenen gelir olarak raporlanmaktadır. Maddi olmayan duran varlıklara ilişkin değer düşüklüğü ise standartlarda GUD ile değerlendirilip gider yazılabilmektedir (Çelik, 2012; Koç, 2018).

3.2. E-Spor'da Sanal Paranın Maddi Olmayan Duran Varlık Olarak Değerlendirilmesi ve Bu Kapsamda Önerilen Muhasebe Kayıtları

Maddi olmayan duran varlıklar standartlarda fiziksel bir niteliğe sahip olmayan, tanımlanabilir duran varlıklar olarak ifade edilmiştir (KGK, Finansal Tablo Örnekleri ve Kullanım Rehberi). Maddi olmayan duran varlıklar standardı, maden sanayiinde veya sigortacılar tarafından kullanılan diğer maddi olmayan duran varlıklara veya gerçekleştirilen ilk tesis maliyetleri gibi harcamalara uygulanmaktadır (TMS 38, Paragraf 7). Bu bağlamda TMS/TFRS'de maddi olmayan duran varlıklara ilişkin yapılan tanımlamada, bu varlıkların fiziksel niteliği bulunmayan tanımlanabilir varlıklar olduğu belirtilmiştir. Bu tanımlamada yer alan unsurlar sanal para ifadesini karşılamaktadır. Nitekim sanal para da fiziksel bir niteliğe sahip olmamakla birlikte tanımlanabilirdir. Dolayısıyla sanal paranın, standartlarda maddi olmayan duran varlıklara ilişkin yapılan tanımlamaya uyduğu ve

sanal paranın maddi olmayan duran varlık olarak değerlendirilebileceğini söylemek mümkündür. Bu kapsamda sanal paranın maddi olmayan duran varlık olarak değerlendirildiği durumda, sanal paranın başlangıç aşamasında edinimi halinde "266 Diğer Maddi Olmayan Duran Varlıklar" hesabının borç, sanal paranın elden çıkarılması durumunda ise 266 Diğer Maddi Olmayan Duran Varlıklar" hesabının alacak kaydedilmesi önerilmektedir. Başlangıç aşamasında maliyet değeri üzerinden kaydedilen sanal para, izleyen dönemde ise maliyet değeri veya etkin bir piyasaya sahip olması bakımından yeniden değerlendirme yöntemi esaslarına uygun olarak kaydedilebilmektedir. Maliyet esasına göre kaydedildiği durumda sanal paranın değerinde meydana gelen değer düşüklüğü kar veya zarar tablosuna kaydedilebilir. İlgili sanal para için aktif pazarın varlığı tespit edildiği durumda, değerlemede yeniden değerlendirme yöntemi seçilmesi halinde, finansal tablolar dönem sonunda daha açık bilgi sağlayabilecektir (Eren vd., 2020). Aşağıda E-Spor faaliyetleri kapsamında sanal ile gerçekleştirilen işlemlerin muhasebeleştirilmesine ilişkin örnekler sunulmuştur.

Örnek 1. E-Spor sektöründe faaliyet gösteren X A.Ş. 15.01.2021 tarihinde, işletmede arayüz tasarımı ile ilgilenen personeline 42.000 TL'lik maaşını Bitcoin sanal para ile ödemiştir. Bu bilgiler doğrultusunda sanal paranın TMS/TFRS'ye uygun olarak muhasebeleştirilmesine ilişkin önerilen kayıt aşağıda sunulmuştur.

15/01/2021			
792 Memur Ücret ve Giderler		42.000	
266 Diğer Maddi Olmayan Duran Varlıklar 266.01 Bitcoin			42.000
Çalışana bitcoin sanal para ile maaş ödemesi			

Örnek 2. Dijital ortamda e-Spor sektöründe faaliyet gösteren Y A.Ş. 18.01.2021 tarihinde e-Spor'da profesyonel oyuncuların yetiştirilmesine yönelik olarak işletme bünyesinde uluslararası çapta video dersler vermeye başlamıştır. Sanal ortamda işletme tarafından verilen bu hizmetin bedeli olan 8.000 TL'yi Tether

sanal para üzerinden tahsil edilmiştir (İşlemlerde KDV ihmal edilmiştir). Bu bilgiler doğrultusunda sanal paranın TMS/TFRS'ye uygun olarak muhasebeleştirilmesine ilişkin önerilen kayıt aşağıda sunulmuştur.

18/01/2021			
263 İşletme İçinde Oluşturulmuş Maddi Olmayan Duran Varlıklar 263.01 Tether		8.000	
601 Yurtdışı Satışlar Diğer Maddi Olmayan Duran Varlıklar 601. Hizmet Satışı			8.000
Tether sanal para ile tahsil edilen videolu ders hizmet bedeli			

Örnek 3. E-Spor sektöründe faaliyet gösteren ve oyun geliştiren Z A.Ş. 21.01.2021 tarihinde yeni bir E-Spor oyununun tasarlanması amacıyla modelleme ve render hizmetlerini, vergi mükellefi olan başka bir işletmeden sağlamış ve hizmet

karşılığında 4.000 TL'lik ödemeyi Ethereum sanal para üzerinden ödemiştir (İşlemlerde KDV ihmal edilmiştir). Bu bilgiler doğrultusunda sanal paranın TMS/TFRS'ye uygun olarak muhasebeleştirilmesine ilişkin önerilen kayıt aşağıda sunulmuştur

21/01/2021

793 Dışarıdan Sağlanan Fayda ve Hizmetler
793.01 Modelleme ve render hizmeti

4.000

262 İşletme Dışından Elde Edilmiş Diğer Maddi
Olmayan Yurtdışı Satışlar Diğer Maddi Olmayan
Duran Varlıklar
266.01 Ethereum

4.000

Ethereum sanal para ile gerçekleştirilen modelleme ve render hizmetlerine ilişkin ödeme

4. Sonuç

Günümüzde bilgi teknolojilerinin yaygın olarak kullanımı ve spor faaliyetlerine duyulan ilgiye paralel olarak gelişen e-Spor, gerçek bir spor olarak kabul edilmesine ilişkin tartışmalar halen sürmekte iken, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de oldukça büyük bir kullanıcı kitlesi yakalamayı başarmıştır. Bir oyuncunun avatarının rakipleri ile mücadele ederek hedefe ulaşması sürecini kapsayan e-Spor, dijital ortamda gerçekleşmektedir. E-Spor dijital ortamdaki insan bilgisayar etkileşimi yoluyla oyuncuların algısal ve bilişsel yetenekleri ile alana özgü becerilerini birleştirerek hedefe ulaşmalarına imkan sağlamaktadır. Oyuncular dijital ortamda gerçekleştirilen e-Spor’da ödeme aracı olarak nakit, mobil ödeme, kredi kartı ile entegre mobil cihazlar ile sanal para seçeneklerinden herhangi birisini kullanabilmektedirler. Bu noktada e-Spor’da ödemenin fiziksel paraya alternatif olarak sadece internet ortamında kullanılabilen sanal para ile gerçekleştirilmesi, bu paranın merkezi bir otorite tarafından kontrol edilememesi, kullanıcılara herhangi bir güvence sağlamaması ve kayıt dışı ekonominin oluşumuna neden olabilmesi bakımından üzerinde dikkatle durulması gereken bir konudur. Türkiye’de sanal paraların takibi ve vergilendirilmesi konusunda kesin bir düzenleme bulunmamasıyla birlikte bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Bu noktada sanal para ile gerçekleştirilen işlemlerin TMS/TFRS kapsamında muhasebeleştirilebilmesine ilişkin, tartışılmaya devam eden

hukuki düzenlemelerin netleşmesi gerekmektedir. Bununla birlikte UFRS yorumlama komitesinin 21 Haziran 2019 tarihli toplantısında sanal paraya ilişkin gerçekleştirdikleri değerlendirmeleri ve sanal paranın nakit ve nakit benzeri varlık ile finansal araç kapsamında değerlendirilemeyeceğine ilişkin görüşleri, tüm dünyada sanal paranın maddi ve maddi olmayan duran kapsamında ele alınmasına ilişkin yaklaşımı güçlendirmiştir. UFRS yorumlama komitesinin bu değerlendirmesi ile birlikte TMS-38 maddi olmayan duran varlıklar standardında yer alan tanımlama ve açıklamalar da, sanal paranın maddi olmayan duran varlıklar kapsamında değerlendirilebilmesine ilişkin görüşleri desteklemektedir. Dijital ortamda sanal para ile gerçekleştirilen E-spor faaliyetlerinin TMS/TFRS’ye göre muhasebeleştirilmesi kapsamında hazırlanan bu çalışmada da sanal paraların maddi olmayan duran varlıklar kapsamında değerlendirilebileceği görüşü savunulmaktadır. Ancak bununla birlikte sanal paranın TMS/TFRS’ye uygun olarak maddi duran varlıklar kapsamında değerlendirilmesi ve bu kapsamda muhasebeleştirilebilmesi için, TMS-38 maddi olmayan duran varlıklar standardında sanal paraya ilişkin açıklamalar kapsamında güncellenmesi, TMS/TFRS Taslak hesap planının ve maddi duran varlıklar hesap başlığının kapsamının sanal parayı da kapsayacak şekilde genişletilmesi önerilebilir. Bu çalışmanın devamında ise sanal paraların ülke ekonomisinde ticari işlemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmasının kayıtdışı ekonomiye olası etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Kaynakça

- Abbas, B. K., & Jasim, I. A. & Nsaif, W. S. (2019). “A Comparative Study of the Growth of Electronic Sports in the World and the Important Global E-Sports Achievements”. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing* 8(1):144-53.
- Ankara Kalkınma Ajansı Raporu. (2016). *Dijital Oyun Sektörü Raporu*.
<https://www.ankaraka.org.tr/archive/files/yayinlar/ankaraka-dijital-oyun-sektoru.pdf>, ss. 9
- Aslantaş, A., B. (2016). "Kripto Para Birimleri, Bitcoin ve Muhasebesi", *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1): 349-366
- Bradley, L. (2017). “Paris Open To Esports Being An Olympic Sport In 2024 Summer Games”.
(<https://www.sporttechie.com/paris-open-esports-olympic-sport-2024-summer-games/>).

- Braun, B., & Stopfer, J., & Müller, K. W., & Beutel, M. E., & Egloff, B., (2016). “Personality and Video Gaming: Comparing Regular Gamers, Non-Gamers, and Gaming Addicts and Differentiating Between Game Genres”. *Computers in Human Behavior* (55): 406-412. doi: 10.1016/j.chb.2015.09.041
- Butler, N., (2017). “Esports Take Big Step Towards Olympic Recognition”.
(<https://www.insidethegames.biz/articles/1057203/esports-take-big-step-towards-olympic-recognition>).
- Çelik, E., (2012), “Türkiye Finansal Raporlama Standartları (TFRS)’nin Varlıkların Değerlemesi Hususunda Getirdiği Yenilikler: Serbest Muhasebeci Mali Müşavirlerin Bilgi Düzeylerinin Tespitine Yönelik Bir Araştırma”, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, ss. 174.

- Eren, B. S., (2020). "Kripto Para Kavramı ve Muhasebeleştirilmesi". İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 9(2): 28.
- European Central Bank. (2012). *Virtual Currency Schemes*. Frankfurt am Main: European Central Bank. ISBN: 978-92-899-0862-7, ss. 11.
- Griffiths, M. D., & Davies, M. N. O., & Chappell, D. (2003). "Breaking The Stereotype: The case of Online Gaming" *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*. 6(1): 81-91. DOI: 10.1089/109493103321167992.
- Guo, J., & Chow. A. (2008). "Virtual Money Systems: A Phenomenal Analysis". *10th IEEE Conference on E-Commerce Technology and the Fifth IEEE Conference on Enterprise Computing, E-Commerce and E-Services*. 10th IEEE Conference on E-Commerce Technology and the Fifth IEEE Conference on Enterprise Computing. Doi: 10.1109/CECandEEE.2008.91, pp. 267-272.
- Hallmann, K., & Giel, T. (2018). "ESports – Competitive Sports or Recreational Activity?" *Sport Management Review* 21(1):14-20. doi: 10.1016/j.smr.2017.07.011. pp. 14-20.
- Hamari, J., & Sjöblom, M., (2017). "What is eSports and why do people watch it?" *Internet Research* 27(2):211-32. ISSN: 1066-2243, doi: 10.1108/IntR-04-2016-0085. pp. 211-232.
- <https://www.esportsearnings.com/>. (2021). "Top 100 Highest Earnings for United States - Esports Player Rankings: Esports Earnings". (<https://www.esportsearnings.com/countries/us>).
- IFRS, Staff Paper, Holdings of Cryptocurrencies. (<https://cdn.ifrs.org/-/media/feature/meetings/2019/june/ifric/ap12-holdings-of-cryptocurrencies.pdf>).
- Kamu Gözetimi Muhasebe ve Denetim Standartları Kurumu (KGK), (2019), Finansal Tablo Örnekleri ve Kullanım Rehberi. (www.kgk.gov.tr/Portalv2Uploads/files/Duyurular/v2/Diger/Finansal_Tablo_Ornekleri_20.5.2013.pdf).
- Karaçalı, C. (2019), "Kripto paraların muhasebeleştirilmesi: bir uygulama". Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kamu Gözetimi Muhasebe ve Denetim Standartları Kurumu (KGK), (2019), TMS 38 Maddi Olmayan Duran Varlıklar. (https://kgk.gov.tr/Portalv2Uploads/files/Duyurular/v2/TMS/TMS_2020/TMS%2038.pdf).
- Kılınç, K. (2019). "2019 Yılı'nın En Çok Gelir Elde Eden Oyunları Açıklandı". *Webtekno*. (<https://www.webtekno.com/2019-yilinin-en-cok-kazanan-oyunlari-h83077.html>).
- Koç, F., (2018), "TMS/TFRS ile Vergi Mevzuatındaki Değerleme Farklılıklarının Finansal Durum Tablosu Üzerine Etkisi: Bist'deki İşletmelerin Uygulamaları Üzerine Bir Analiz", Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, ss. 139-140.
- Lee, D., & Schoenstedt, L. J. (2011). "Comparison of ESports and Traditional Sports Consumption Motives". *ICHPER-SD Journal of Research* 6(2):39-44.
- Macey, J., & Hamari, J.(2018). "Investigating Relationships between Video Gaming, Spectating Esports, and Gambling". *Computers in Human Behavior* (80):344-53. doi: 10.1016/j.chb.2017.11.027.
- Parry, j. (2019). "E-sports are Not Sports". *Sport, Ethics and Philosophy*, ISSN: 1751-1321. 13(1):3-18. doi: 10.1080/17511321.2018.1489419.
- Pelucio-Grecco, M. C., & Santos Neto, J. P. dos, & Constancio. D. (2020). "Accounting for Bitcoins in Light of IFRS and Tax Aspects". *Revista Contabilidade & Finanças* 31(83):275-82. doi: 10.1590/1808-057x201909110.
- Pluss, M. A., & Bennett, K. J. M. & Novak, A. R., & Panchuk, D., & Coutts, A. J., & Fransen. J. (2019). "Esports: The Chess of the 21st Century". *Frontiers in Psychology* (10):1-5. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00156.
- Procházka, D. (2018). "Accounting for Bitcoin and Other Cryptocurrencies under IFRS: A Comparison and Assessment of Competing Models". *The International Journal of Digital Accounting Research* (18):161-88.
- Raiborn, C., & Sivitanides, M. (2015). "Accounting Issues Related to Bitcoins". *Journal of Corporate Accounting & Finance* 26(2):25-34. doi: <https://doi.org/10.1002/jcaf.22016>.
- Resmî Gazete. *Ödeme ve Menkul Kıymet Mutabakat Sistemleri, Ödeme Hizmetleri ve Elektronik Para Kuruluşları Hakkında Kanun*. T.C. Sayı: 28690.
- Seo, Y. (2013). "Electronic sports: A new marketing landscape of the experience economy". *Journal of Marketing Management* 29(13-14):1542-60. doi: 10.1080/0267257X.2013.822906.
- Seo, Y. & Jung S., (2016). "Beyond Solitary Play in Computer Games: The Social Practices of eSports". *Journal of Consumer Culture*, 16(3): 635-655. Doi: 10.1177/1469540514553711.
- Stancheva, E. (2019). "Accounting for Cryptocurrencies -Some Unanswered Questions and Unresolved Issues". *Sofia University, Faculty of Economics and Business Administration* (19):1-17. doi: 10.13140/RG.2.2.19422.28486.
- Taylor, T. L., & Witkowski, E. (2010). "This Is How We Play It: What a Mega-LAN Can Teach Us About Games". *In Proceedings of the Fifth International Conference on the Foundations of Digital Games*. ACM. pp.195-202.
- Wagner, M. G. *On the Scientific Relevance of eSports*. In Conference on Internet Computing & Conference on Computer Games Development.
- Warman, P. (2017). *Global Esports Market Report*. Newzoo.
- Warr, P. (2014). "eSports in numbers: Five mind-blowing stats". *Red Bull*. (<https://www.redbull.com/int-en/esports-in-numbers-five-mind-blowing-stats>).
- Witkowski. (2009). *Probing the sportiness of eSports*. eSports Yearbook 2009, in Christophers, J. and Scholz, T., Books on Demand GmbH, Norderstedt.
- Witkowski, E. (2012). "On the Digital Playing Field: How We 'Do Sport' With Networked Computer Games". *Games and Culture* 7(5):349-74. doi: 10.1177/1555412012454222.



Çimento Fabrikasında Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi

Özgür Kalelioğlu^{1*}, Ercan Köse²

^{1*} Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1545-9159), ozgurkalelioglu@gmail.com

² Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9814-6339), ercankos@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 10 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.893385)

ATIF/REFERENCE: Kalelioğlu, Ö. & Köse, E. (2021). Çimento Fabrikasında Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 43-49.

Öz

Endüstrileşme ve modern anlamda teknolojilerin gelişmesi sonucunda meydana gelen sorunlardan birisi de ses kirliliğidir. Gürültü olarak da bilinen ses kirliliği, dinleyiciye anlamsız, istenmeyen gürültü ve insanları rahatsız eden düzensiz, yüksek ses olarak tanımlanır. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'na göre; Meslek hastalıklarının% 10'u gürültüye bağlı işitme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Yüksek gürültü seviyeleri canlıların yaşamına birçok yönden olumsuz etki etmektedir. İnsan sağlığı ile ilgili olumsuz sonuçların azaltılması veya yok edilmesi için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Gürültünün etkilerini araştırmak üzere yapılan bu çalışmada işletmede TS 2607 ISO 1999:2005 ve TS EN ISO 11204 standartları kullanılarak gürültü düzeylerinin belirlenmesi ve çalışanlardaki etkilerinin ortaya konulması ile ilgili yapılan bu çalışmada 6 bölümde bulunan 11 üniteye toplam 33 gürültü maruziyet ölçümü ve bölümlerin yer aldığı noktalardan 6 adet ortam gürültü ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yüksek gürültü düzeylerinin ölçüldüğü yerler için teknik ve çalışanlara yönelik tedbirler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı ve Güvenliği, Çimento, Gürültü.

Determination of Noise Levels in Cement Factory

Abstract

One of the problems that arise as a result of industrialization and the development of modern technologies is noise pollution. Sound pollution, also known as noise, is defined as meaningless, unwanted noise to the listener, and irregular, loud noises that disturb people. According to the Ministry of Labor and Social Security; 10% of occupational diseases are defined as hearing loss due to noise. A total of 33 noise exposure measurements in 11 units in 6 departments and 6 from the points where the departments are located in this study, which was conducted to determine the noise levels using TS 2607 ISO 1999: 2005 and TS EN ISO 11204 standards and to reveal the effects on the employees in the plant producing cement. Ambient noise measurement was carried out. Technical and employee-oriented measures have been proposed for locations where high noise levels are measured.

Keywords: Occupational Health and Safety, Noise, Cement.

* Sorumlu Yazar: ozgurkalelioglu@gmail.com

1. Giriş

Çimento sektörü, hammadde üreticisi konumu itibarıyla inşaat ve yapım işlerini doğrudan besleyen bir sektördür. Ülkemiz Dünya çimento imalatında ilk 5'te yer almakta olup, son 10 yıllık süreçte üretim miktarını % 50 arttırmış ve Avrupa'da sektörün lideri durumuna gelmiştir (Ünal, 2018). Üretimimiz yerel talebin tamamına cevap verebilmekteyken aynı zamanda sektörümüz Dünya ihracat sıralamasında da üst sıralarda yer almaktadır (Sönmez, 2018).

Endüstrileşme ve modern teknolojik gelişmeler ülkelere stratejik, ekonomik yönlerden olumlu değerler katmak ile birlikte, kuruldukları yerlerde ve çalışanlarında bazı olumsuzluklar oluşturmaktadırlar. Çimento sektöründe işçi sağlığı kapsamında yapılan tehlike tanımlama ve risk değerlendirme çalışmalarında kimyasal riskler, fiziksel riskler, çevresel riskler, enfeksiyon riskleri, akciğer riskleri, cilt riskleri, kas ve iskelet sistemi riskleri ve psikososyal risklerin oluşabileceği gözlemlenmiştir.

İş sağlığı ve güvenliği; çalışanların iş emniyetini, sağlığını ve rahatlığını sağlayan hukuk ve buna bağlı politika, süreç ve prosedürleri içeren multidisipliner bir organizasyon alanıdır. Diğer bir deyişle işyerlerinde faaliyet gösterilirken çeşitli sebeplerden ötürü çalışan sağlığı için tehdit oluşturabilecek unsurlara karşı tedbir amacıyla gerçekleştirilen sistematik ve bilimsel uygulamalar bütünüdür (Öktem, 2017).

Meslek hastalıkları ise çalışanın yaptığı işe bağlı olarak ortaya çıkan, hastalık yapıcı etkenlerin rol oynadığı ve büyük ölçüde önlenemez olan sağlık problemleridir. İşverenlerin asli sorumlulukları arasında çalışanların genel sağlık durumlarının iyi olmasını sağlamanın yanı sıra meslek hastalıklarının ortaya çıkmasına engel olmak da bulunmaktadır. İş kaynaklı hastalık yapıcı etkenler uygun metotlarla kontrol altına alındığında meslek hastalıklarının oluşma riski minimize edilebilir. İşyerlerinde hastalıklara sebep olan bu unsurlar içerisinde; fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler, tozlar, ergonomik ve psikososyal faktörler yer almaktadır (Vidinli vd.,2016).

Endüstrileşme ve modern anlamda teknolojilerin gelişmesi sonucunda meydana gelen sorunlardan birisi de ses kirliliğidir. Gürültü olarak da bilinen ses kirliliği, dinleyiciye anlamsız, istenmeyen gürültü ve insanları rahatsız eden düzensiz, yüksek ses olarak tanımlanır. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'na göre; Meslek hastalıklarının% 10'u gürültüye bağlı işitme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Gürültünün şiddeti, gürültüye maruz kalınan süre ve frekansı ile etkilenmenin sürekli ya da kesikli olması ve kişisel duyarlılık ile yaş, gürültüden etkilenme seviyesini doğrudan etkileyen en önemli unsurlardır.

Bu çalışmada çimento fabrikasındaki gürültü düzeylerinin ve çalışanlarının etkilenim seviyelerinin belirlenmesi ile alınacak önlemlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaca yönelik olarak çimento üretim sektöründe çeşitli ünite ve proseslerde çalışan personelin İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamında maruz kaldığı gürültü düzeyleri ve maruziyetlerin yasal limitlerle karşılaştırılarak değerlendirmeleri yapılmıştır.

Ses ve Gürültü

Ses nesnel (fiziksel) ve öznel (fizyolojik) olmak kaydı ile iki farklı açıdan tanımlanmaktadır. Fiziksel açıdan gürültü, esnek

bir ortamda (katı, sıvı, gaz) basınç dalgalanmaları veya titreşim kaynaklarının neden olduğu ortam parçalarının yer değiştirmesidir. Fizyolojik olarak gürültü, duyu organlarının elastik bir ortamda titreşim kaynağının neden olduğu basınç değişiklikleri kavramıdır (Hansen, 2001, Barron, 2003, Özgüven, 1986).

Sesin birimi desibeldir ve bir büyüklüğün, belirlenen referans değerine oranlanması ve bu oranın logaritmasının alınması ile elde edilen değer Graham Bell'in anısına Bel (B) olarak tanımlanmaktadır. Desibel (dB), elde edilen değer 1/10 una karşılık gelmektedir. Herhangi bir işitme kaybı bulunmayan sağlıklı bir insan, 20 µPa ile 200 Pa arasında yer alan ses şiddetlerini duyabilmektedir. Sesin 20 µPa değerine işitme eşiği, 200 Pa değerine de ağrı eşiği adı verilir (Çınar, 2005).

Gürültü kelimesi ise Latin dilinde yüksek ses, beklenmeyen ve hoş olmayan sesler anlamına gelmekte olan "nausea" sözcüğünden türetilmiştir (Singh ve Davar, 2004). Duyulduğu zaman müzik sesi gibi beğeni sağlamayan ses olarak adlandırılmaktadır. Gürültüye neden olan sesde bütün sesler gibi hava basıncı altında ve üst kısmında belirli değişiklikler meydana getiren belirli bir titreşim ile meydana gelmektedir. Havadaki basınçta meydana gelen değişiklikler, kulağa dalgalar şeklinde gelmekte ve buna bağlı olarak ses şeklinde işitilebilmektedir (Çınar, 2005).

Gürültü, temel insan faaliyetleri, ulaştırma, sanayi gelişimi ve kalkınmanın sonucunda meydana gelmiştir. Kentsel nüfus gürültü kirliliğinden büyük ölçüde etkilenmektedir, ancak gürültü kirliliğinin etkileri, yan yollardaki küçük olan köylerde ve kasabalarda da oluşmaktadır. Gürültünün etkileri neredeyse evrensel olmakla birlikte, gelişimini tamamlamış olan devletler bile bu problemin farkına varamamışlardır.

Gürültü ve sesin ölçümünün yapılması oldukça geniş bir konu olmasının yanı sıra apayrı bir tekniktir. Ses türleri, spektral formlar, süreye bağlı olan değişkenler ve diğer birçok unsurla birlikte, gürültü ve ölçülmesi planlanan seslerin özelliği büyük ölçüde değişebilir. Bu nedenle ölçüm için kullanılan ekipman koşullara ve amaca göre seçilmese yanlış veya yanıltıcı sonuçlar elde etmek mümkündür (Özey, 2014).

Gürültünün Sınıflandırılması

Gürültü frekansına ve zaman değişimine göre iki grupta incelenmektedir (Özey, 2014).

Frekansına göre;

Geniş bant gürültüsü; Gürültüye neden olan saf seslerin frekansları da oldukça geniş aralıkları kapsamaktadır. Gürültüye neden olan ses frekanslarının, bütün frekans aralığınca oluşmasına "Geniş Bant Gürültüsü" denilmektedir. Her frekans düzeyinde katkılarının aynı olduğu gürültülere ise "Beyaz Gürültü" denilmektedir. Makinelere kaynaklı gürültü geniş bant gürültüsüne örnek verilebilir.

Dar bant gürültüsü; Geniş bant gürültülerinin tam tersine, bu şekilde gürültülerin frekanslarının dağılımı, belirli düzeyde frekans bandında toplanmış grafik göstermektedir. Farklı bir anlatım ile gürültüyü meydana getiren temel seslerden frekansları belirli aralıklarda toplanmış olanlar baskın durumdadır.

Zaman değişimine göre;

Kararlı gürültü: Genel olarak belirli bir zaman içerisinde değişimleri 5 dB(A) içerisinde kalan gürültü, Yani gürültünün seviyesinde zamanla bir değişime gözlenmez.

Kararsız gürültü: Ses seviyeleri zamanla önemli oranda değişimler göstermektedir.

-Dalgalı gürültü, gürültü seviyelerinde önemli oranda değişikliklerin olduğu gürültüdür.

-Kesikli gürültü, bir gözlem sırasında ortam gürültüsündeki ani düşüştür ve ortam gürültüsü seviyesinin bir saniye veya daha fazla sürede devam eden değişim göstermeyen gürültü türüdür, durup tekrardan çalışmakta olan vantilatörlerin sesi gibi.

-Darbe gürültüleri, bir saniyeyi geçmeyen ya da vuruşların oluşturduğu gürültü türüdür.

Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Meslek hastalığı listesi içerisinde iş sağlığı ve güvenliği kapsamında yer alan hastalıklar 5 grupta toplanmıştır;

- 1) Kimyasal maddelere bağlı şekilde ortaya çıkan hastalıklar
- 2) Mesleğe bağlı cilt hastalığı
- 3) Pnömonyozlar ve farklı solunum yolu hastalığı
- 4) Mesleki yönden bulaşıcı hastalıklar
- 5) Fiziki etkenlere bağlı olarak ortaya çıkan hastalıklar.

Sanayide gürültünün neden olduğu işitme kayıpları da fiziki etmenlere bağlı olarak meydana gelen meslek hastalığı şeklinde nitelendirilmektedir (Hisam, 2018).

Gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkisinde etkilenme süreleri son derece önemli bir faktördür. Gürültüye maruz kalmanın insanlar arasında farklı sonuçları vardır. İç kulakta ki durum, önceki hastalıkları ve bireylerin hassasiyeti önemli durumlardır.

Gürültünün sağlık yönünden değerlendirilmesinde yaş unsuru da oldukça önemlidir. Kişilerdeki görme kayıpları gibi işitme kayıpları da 40 yaşında başlamaktadır. Bu nedenle, işitme kaybı hesaplaması 40 yıl ile sınırlıdır ve her yıl odyogramdan sonra 0,5 dB yaşa bağlı işitme kaybı düşülr (Hisam, 2018).

ÇSGB (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı) tarafından 28.07.2013 tarih ve 28721 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmış olan “Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik” İşçileri sağlık ve güvenlik tehlikelerinden, özellikle gürültüye maruz kalmadan kaynaklanan işitme kaybından korumaya yönelik minimum gereksinimler tanımlanmıştır. Bunlar:

a) En düşük maruziyet eylem düzeyi (LEX, 8saat) = 80 dB(A) veya (Ptepe) = 112 Pa [135 dB(C) re. 20 µPa] (20 µPa ölçüm aralığında 135 dB (C) şeklinde hesaplanmış olan değerler).

b) En yüksek maruziyet eylem düzeyi: (LEX, 8saat) = 85 dB(A) ya da (Ptepe) = 140 Pa [137 dB(C) re. 20 µPa].

c) Maruziyet sınır değeri: (LEX, 8saat) = 87 dB(A) veya (Ptepe) = 200 Pa [140 dB(C) re. 20 µPa] şeklinde yönetmeliklerde tespiti yapılmıştır (ÇSGB, 2013).

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın konusunu oluşturan işletme çimento üretimi yapan bir tesistir. Fabrikada üretim faaliyetleri, hammaddelerin kırıcılar ile belli boyutlarda kırılmasını sağlayan üniteler, malzemenin homojene olmasını sağlayan homojenizasyon üniteleri, klinker üretim üniteleri, çimento üretim üniteleri ve paketleme üniteleri ile gerçekleştirilmektedir.

2.1. İşletmede Üretim

İşletmede klinker ve çimento üretimi hammadde ocaklarında patlatmalar sonucunda 1-1,5 m³ hacminde malzemeler ocaktan kamyonlar vasıtasıyla kırıcılara getirilmekte ve kırıcı bunkerlerine dökülmektedir. Burada, kalker, kil ile alçı taşı, boyutu 0-100 mm ebatlarına ulaşana kadar boyut küçültme işlemine tabi tutulur. Hammadde ocaklarından taşınan malzemelerin bir kısmı hammadde ocaklarında stoklanırken bir kısmı da hammadde kırma ünitelerinde ihtiyaç durumuna göre çekiçli kırıcı ile kırılmaktadır. Kalker ve kil kırıcılarından çıkan kırılmış malzeme, tamamen kapalı konveyör bantlar vasıtasıyla ön stoklama tesisine sevk edilmektedir.

Farklı tane boyutundaki ve farklı kimyasal özelliklerde ki hammaddeler kırıcı besleme bunkerlerine gönderilmektedir, kırılma işlemleri sırasında iyi derecede karışarak homojen bir yapıya dönüşmektedir, karıştırılabilecek boyutlara küçültülerek öğütme işlemine hazır olurlar.

Kırılan hammaddeler, farklı şekillerde yapı göstermemesi için ön homojene stok sahalarına beslenmektedir. Lineer stokhollerde ise alçı taşı, demir cevheri, katkı kalker, kum gibi katkı malzemeleri bulunmaktadır. Stokhollere malzemeler yığıcı ile stoklanır. Stoklanan malzemeyi sisteme besleyen ekipman ise kazıyıcıdır.

Ön homojenizasyonunu tamamlanmış olan hammaddeler, pişirme işlemine alınmadan önce öğütülmesi gerekmektedir. Öğütmenin amacı, hammadde karışımını farin olarak adlandırılan un gibi toz şekline getirerek kimyasal reaksiyon yüzey alanını arttırmaktır. Stokhollerde bulunan malzemeler farin değirmeni bunkerlerine aktarılır. Kireçtaşı, kil, demir cevheri, v.b. gibi kimyasal kompozisyona sahip malzemeler öğütülerek ince bir toz haline getirilir.

Farin değirmenlerinde öğütme ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kurutma işlemi için döner fırından alınan atık sıcak gaz kullanılmaktadır. Değirmene yaklaşık % 10-12 nemli olarak giren hammadde karışımı, fırından gelen ve değirmen girişinde yaklaşık 350 °C olan sıcak atık gaz ile kurutulur. Değirmenlerde öğütülen malzeme farin silolarına gönderilir.

Ön ısıtıcı aşamasında kalsinasyonu büyük ölçüde tamamlanan farin döner fırına intikal eder. Farin silosundan tartılarak alınmış olan farin siklonlardan meydana gelen bir ön ısıtıcı ile birlikte kuleye beslenmektedir. Siklonlardan aşağı inerken farin 300C’den 10000C’ye ulaşınca dek ısıtılmakta %90 düzeyinde kalsine olmaktadır. Farin, fırında pişmesi esnasında hammadde içinde yer alan oksitler, ilk olarak serbest hale gelmekte daha sonra artan ısı ile birlikte yeni bileşikler oluşturmaktadırlar. Ön ısıtıcılardan gelen farin döner fırın içerisinde 15000C’de pişirilip kalsine edilmeleri için granüle hale getirilmektedir ve bu işlemler düşey değirmenlerde ya da bilyalı olan değirmenlerde gerçekleştirilmektedir. Fırın içerisinde sinterleşme meydana gelir ve yaklaşık 1300-1400°C’de pişme

prosesi gerçekleşir. Bu kısımda oluşan klinkerleşme tepkimeleri sonucunda meydana çıkan malzeme klinker soğutma ünitesine dökülür ve hava kullanılarak soğutulur. Elde edilen klinker stok sahasına sevk edilir. Fırında yakıt olarak kullanılan kömür, kömür besleme bunkerleri vasıtası ile kömür değirmenine sevk edilir ve öğütüldükten sonra döner fırında yakıt olarak kullanılır.

Çimentonun üretiminde; klinker ve alçı taşına gereksinim duyulmaktadır. Bu malzemelere ek olarak katkılar şeklinde sınıflara ayrılan tras, marn, kalker, curuf, yüksek fırın curufu da üretilecek olan çimento tipine göre katılır. Belirli düzeyde alçı taşı katılarak öğütülen klinkere portland çimentosu denilmektedir.

Alçıtaşı ve katkı şeklinde kullanılacak olan hammaddeleri çimento değirmenlerinde öğütülemeyecek düzeyde büyük parçalardan oluştuğu için, ilk olarak kırıcılardan geçirilmektedir. Değirmen çıkışından alınan numunenin incelik analizine göre seperatör yardımıyla tekrar öğütülür veya çimento tipine göre ayrı ayrı silolara nakledilerek stoklanır.

Silolardan alınan çimento havalı bant yardımıyla paketleme ünitesine sevk edilir. Paketleme makinaları döner kantarları sayesinde istenilen ağırlıkta (25kg, 50kg) üretimi gerçekleştirir. Üretilen torbalı çimento lastik bant vasıtasıyla nakliye araçlarına sevk edilir ve satışı yapılır. Silolardan direk olarak silobazlara dökme çimento yükleme yapılarak da satış gerçekleştirilmektedir.

2.2. Ölçüm Yöntemi ve Cihazlar

İşletmede oluşan gürültü düzeyi ölçümleri TS 2607 ISO 1999:2005 “Akustik – İş Yerinde Maruz Kalınan Gürültünün Tayini ve Bu Gürültünün Sebep Olduğu İşitme Kaybının Tahmini”, ve TS EN ISO 11204 “Akustik - Makina Ve Donanımdan Yayılan Gürültü - Bir İş İstasyonundaki Ve Benzer Çevresel Düzeltmeler Uygulanmış Belirtilen Diğer Konumlardaki Emisyon Ses Basınç Seviyelerinin Tayini” standartları kullanılarak yapılmıştır. Saha çalışmaları;

Yönetim planının oluşturulması
Makinaların sayısı ve işletmedeki yerleşim durumlarının tespiti,
İş yerindeki personel sayısı/ vardiya sayıları / personellerin çalışma zamanının tespiti,
İşletme bölümlerinde bulunan makineler hakkında bilgi,
Personellerin sağlık durumları, işitme ile ilgili problemi olanların tespiti,
Varsa daha önce yapılmış ölçüm raporları incelenmesi,
Sahada ölçüm yapılacak noktalar, ölçüm metotları, ölçüm sürelerinin belirlenmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Ortam gürültü ölçümlerinde Tip 1 özellikte Svantek marka gürültü ölçüm cihazı, kişisel gürültü maruziyet ölçümlerinde ise Svantek marka dozimetre cihazları kullanılmıştır.

Saha ölçümleri sonucunda elde edilen bulgular öncelikle yasal limitlerle karşılaştırılmıştır. Söz konusu sonuçlar çalışanların bulunduğu ortama, çalışma geçmişine, görev aldığı ünite ve proseslere göre değerlendirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İşletmede gürültü maruziyeti ölçümleri TS 2607 ISO 1999 (2005) standardı ortam gürültü ölçümleri ise TS EN ISO 11204 standardı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler hızlı zaman ağırlıklı
e-ISSN: 2148-2683

modda Eşdeğer ses düzeyi (Leq), gürültü maruziyet düzeyi (LEX8h), en yüksek ses basınç düzeyi (Ptepe) değerlerini kapsamaktadır.

En yüksek ses basıncı (Ptepe): Bir ölçüm aralığındaki en yüksek anlık ses basıncıdır. C veya Z frekansında ölçülmektedir.

Hızlı zaman ağırlıklandırma, F: Gürültü ölçüm cihazlarında zaman sabitleri 125 ms ve 1000 ms olan hızlı (F) ve yavaş (S) zaman modlarını bulundurmaktadır. Hızlı modda yapılan ölçümler 125 ms'lik aralıklarla kaydedilmektedir.

Eşdeğer ses düzeyi, Leq, LAeq: Belirli bir süredeki toplam ses enerjisi eşdeğer ses basınç seviyesine karşılık gelmekte olup birimi dB'dir.

Günlük gürültü maruziyet düzeyi (LEX,8saat): TS 2607 ISO 1999 (2005) standardında tanımlandığı gibi en yüksek ses basıncının ve anlık darbeleri gürültünün de dâhil olduğu A-ağırlıklı bütün gürültü maruziyet düzeylerinin, sekiz saatlik bir iş günü için zaman ağırlıklı ortalamasıdır.

İşletmede gürültü maruziyet ölçümleri ve ortam ölçümleri kırıcılar (2 adet), farin değirmeni (2 adet), döner fırın (2 adet), çimento değirmeni (2 adet), kömür değirmeni (2 adet), paketleme ünitesi (1 adet) olmak üzere toplam 6 bölüm 11 üniteye toplam 33 ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ortam ölçümleri bölüm bazında yapılmış olup 6 ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Kömür değirmenine ait 1/3 oktav bandında her bir frekans bandı için ortam gürültü düzeyi Leq=83,1 dB(A) olarak ölçülmüştür.

ÇSGB (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı) tarafından 28.07.2013 tarih ve 28721 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmış olan “Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik” de En yüksek maruziyet eylem düzeyi: (LEX, 8saat) = 85 dB(A) ya da (Ptepe) = 140 Pa [137 dB(C) re. 20 µPa]. belirtilmektedir (ÇSGB, 2013).

Yönetmelikte kişisel maruziyet ölçüm değerleri belirtilmesine karşın ortam gürültü düzeyi ölçümünün yapıldığı kömür değirmenlerinde de bu sınır değerlerin dikkate alınması gürültü nedeni ile meydana gelebilecek olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik tedbirlerin alınması açısından önemlidir. Kömür değirmenlerinin yakınında bulunan çalışanların ya da kömür değirmenlerinin bulunduğu yerden geçiş yapacak çalışanların kişisel koruyucu donanımlarını takması ya da değirmen çevresinde izolasyon tedbirlerinin alınması gürültü etkilerinin azaltılması açısından yararlı olacaktır.

Çimento değirmenlerinde ortam gürültü düzeyi Leq=75,8 dB(A), paketleme ünitelerinde ortam gürültü düzeyi Leq=70,7 dB(A), farin değirmenlerinde ortam gürültü düzeyi Leq=79,8 dB(A) ve döner fırın ünitelerinde ortam gürültü düzeyi Leq=78,3 dB(A) olarak ölçülmüştür.

Kırıcılara ait 1/3 oktav bandında her bir frekans bandı için ortam gürültü düzeyi Leq=92,1 dB(A) olarak ölçülmüş olup kırıcıların olduğu ortamda da uzun süre bulunulması işitme sağlığı açısından olumsuz etkiler getireceğinden kömür değirmenlerinde olduğu gibi yakınında bulunan çalışanların ya da kırıcıların bulunduğu yerden geçiş yapacak çalışanların kişisel koruyucu donanımlarını takması ya da kırıcılar çevresinde gürültü azaltımına yönelik izolasyon tedbirlerinin alınması önemlidir.

Gürültü maruziyet ölçümleri tam gün ölçüm stratejisi ile her bir üniteye 3 kişi üzerine gürültüye maruz kalan kulağın iç kulak

kanalının girişinin 0,1 metre uzağına omuz başına gelecek şekilde ve omuzun yaklaşık olarak 0,04 metre hizasında dozimetreler takılarak 8 saatlik tam gün ölçümler yapılmış olup toplam 33 ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. de kırıcılar, farin değirmenleri, çimento değirmenleri, kömür değirmenleri, döner fırınlar ve paketleme ünitesinde yapılan 8 saatlik ölçümler verilmiştir.

Balcı (2016), çimento üretim sektöründe gürültü düzeylerinin belirlenmesine yönelik 3 işletmede yaptığı çalışmada kırıcı, farin değirmenleri ve çimento değirmenlerinde yüksek gürültü maruziyetinin olduğunu, kırıcı ve çimento değirmeninde en yüksek maruziyet eylem değerinin aşıldığını, farin değirmenlerinde ise sınır değerlere yakın veya aştığını belirtmiştir.

İlgürel ve Sözen (2005), yaptıkları çalışmada gürültünün endüstrileşme ve şehirleşme ile beraber pek çok ülkede insan sağlığını ve hayat kalitesini etkilediğinden bu durumun ciddi bir çevre sorunu haline geldiğini belirtmişlerdir. Sanayide birbirinden farklı gürültü düzeylerine sahip mekanlarda çalışan kişilerin gürültü düzeylerinden etkilenme süreçlerini inceleyen bu çalışmada, gürültü düzeylerine ait ölçümler ve anket çalışmaları yapılarak toplanan veriler değerlendirilmiş ve gürültü seviyeleri ile çalışanların maruz oldukları gürültü seviyelerinden etkilenme durumları arasındaki ilişkileri ortaya konulmuştur.

Topçu (2016), çimento üretim sektöründe risk değerlendirmesi yaptığı çalışmada dokuz ana üretim bölümünde gürültü maruziyeti kaynaklı riskler arasında en yüksek puanlıların konkasör ünitesi olduğu, bu üniteyi sırasıyla çimento değirmeni, döner fırın ve farin değirmeninin takip ettiğini belirtmiştir.

Tokdemir (2019), çimento fabrikasında gürültünün belirlenmesine yönelik yaptığı çalışmada, çimento değirmeni, paketleme ünitesi, farin değirmeni, kömür değirmeni ve kırıcı da ölçümler gerçekleştirmiştir. Elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesinde farklı ünitelere ait ölçüm sonuçlarının yönetmelikte belirtilen sınır değerleri aşmadığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada da işletmede yapılan ölçümler, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 20/6/2012 tarih ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve bu kanuna istinaden çıkarılan “Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik” Madde 5 e göre “En Yüksek Maruziyet Eylem Değeri” olan 85 dBA veya $P_{tepe}=137$ dBC’ye göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamda kırıcı 1, kırıcı 2, kömür 1, kömür 2 ve döner fırın 1 ünitelerine ölçüm değerlerinin en yüksek maruziyet eylem değerini aştığı belirlenmiştir.

Çoşgun vd. (2008), Şehirleşmenin, sanayileşmenin ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte gürültünün önemli bir çevre ve sağlık sorunu haline geldiğini, gürültü maruziyetinden etkilenme sonucu insanların psikolojik, ruhsal ve fiziksel sağlıklarının bozulduğunu belirtmişlerdir. Gürültünün önlenmesi ve azaltılmasına yönelik bazı tedbirlerin tasarım aşamasında alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Yapılan bu çalışmada bir yapının iç mekanındaki gürültü oluşturan kaynakların neden

olduğu gürültü düzeylerinin belirlenmesi, ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Aynı üretim sektöründe Balcı (2016) ve Topçu (2016)’nın yaptığı çalışmalarda sınır değerlerin aşıldığı belirtilen üniteler ile bu çalışmada sınır değerlerin aşıldığı üniteler benzerlik göstermektedir. Gürültü kaynaklarından özellikle kırma ve öğütme faaliyetinin yapıldığı kırıcı ile değirmenlerin gürültü düzeylerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Arslan (2017), çimento sektöründe faaliyet gösteren fabrikalarda farin değirmenleri, çimento değirmenleri, fırın manto soğutucu fanlar gibi gürültü kaynaklarında gürültü düzeyini azaltmak için mücadele programı uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Gürültünün kaynağında önlenmesini, iş ekipmanlarının düzenli olarak bakım ve onarımlarının yapılmasını ve gürültünün yayılımının engellenmesinin önemini belirterek bu önlemlerle gürültü düzeyinin azaltılmaması durumunda çalışanlar üzerindeki etkisini azaltmak için kişisel koruyucu donanımların kullanılmasının gerekliliğini vurgulamıştır.

Bu çalışmada da sınır değerlerini aşan ünitelerde oluşan gürültünün yayılımını önlemek için gürültü emici malzemelerin ve engelleyici bariyerlerin kullanılması gürültü maruziyet değerlerinin azaltılmasına neden olacaktır. Aynı zamanda idari tedbir olarak maruziyet zamanının azaltılması, dinlenme ve çalışma süreleri ile ilgili düzenlemelerin yapılması çalışan sağlığı açısından yararlı olacaktır.

Gengeç (2005), Çalışmasında İSG kapsamında geçmişten günümüze kadar olan süreçleri değerlendirmiş, hava kirliliği ve gürültü kirliliğini ele alarak, yapılan ölçümlerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar doğrultusunda kişisel koruyucu ve ekipmanlar önermiştir.

Güvercin ve Aybek (2016), Yaptıkları çalışmada, iş sağlığı ve güvenliği bakımından özellikle iki adet problemle karşılaştıklarını, bu problemlerde hava ve gürültü kirliliği olarak sıralamışlardır. Gürültünün çalışanlar üzerinde geçici ya da sürekli olarak işitme fonksiyonlarında kayıplara sebep olabildiğini aynı zamanda insanların sağlıklarını fizyolojik ya da psikolojik açıdan bozabileceklerini belirtmişlerdir. Bu araştırmada gürültü düzeyleri tespit edilerek elde edilen sonuçlar, ilgili yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmiş ve söz konusu işletmelerde gürültünün olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik öneriler sıralanmıştır.

Rençber (2019), yaptığı çalışmada iş sağlığı ve güvenliği kapsamında eğitimlerin verilmesinin, kişisel koruyucu donanımların işveren tarafında temin edilmesinin yanı sıra çalışanların iş yeri hekimi, iş güvenliği uzmanı, ustabaşı tarafından denetlenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

İşletmede çalışanların kişisel gürültü maruziyetini indirmek için kulak koruyucu donanımların kullanılması özellikle sınır değerleri aşan ünitelerde mutlaka gerekli olup, Rençber (2019)’un çalışmasında belirttiği gibi kullanım ile ilgili eğitim, denetim ve kulak koruyucuların etkinliğinin kontrol edilmesi işlemleri iş sağlığı ve güvenliği uzmanı ile iş yeri hekimi tarafından yapılmaktadır.

Tablo 1. Ünitelere ait Lex 8h ölçüm değerleri.

Ölçüm Bilgileri			Ölçüm Sonuçları			
No	Ölçüm Süresi (dk)	Bölüm	Lp,A,eqTn dB (A)	L _{EX} 8h dB (A)	Ptepe dB (C)	En Yüksek Maruziyet Sınır Değeri
1	480	Kırıcı 1	93	92,3 ± 3	141,3	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			92,6			
			93,1			
2	480	Kırıcı 2	89,7	89,8 ± 3,1	138,7	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			90,6			
			89,8			
3	480	Farin Değirmeni 1	78,5	77,2 ± 4,4	122,3	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			76,2			
			77,4			
4	480	Farin Değirmeni 2	76,7	77,9 ± 4,7	124,2	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			78,1			
			78,4			
5	480	Çimento Değirmeni 1	81,2	82,2 ± 4,1	127,7	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			83			
			83,1			
6	480	Çimento Değirmeni 2	82,2	81,5 ± 3,1	126,3	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			81,8			
			81,4			
7	480	Döner Fırın 1	87,8	88,5 ± 3,6	136,3	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			89,4			
			89			
8	480	Döner Fırın 2	81,2	79,9 ± 3,9	131,7	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			79,6			
			79,4			
9	480	Kömür Değirmeni 1	87,8	88,5 ± 3,5	140,2	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			88,9			
			89,4			
10	480	Kömür Değirmeni 2	94,3	93,4 ± 3,8	144,1	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			92,6			
			94,1			
11	480	Paketleme Ünitesi	69,6	70,2 ± 3,5	115,6	dB(A) ≤ 85 dB(C) ≤ 137
			71,2			
			70,5			

4. Sonuç

6 adet bölümde yapılan ortam gürültü ölçümlerinde kömür değirmenlerinin olduğu bölümde 83,1 dB(A), çimento değirmenlerinin olduğu bölümde 75,8 dB(A), paketleme ünitesinin olduğu bölümde 70,7 dB(A), farin değirmenlerinin olduğu bölümde 79,8 dB(A), döner fırınların olduğu bölümde 78,3 dB(A) ve kırıcıların olduğu bölümde 92,1 dB(A) değerleri elde edilmiştir.

Günlük gürültü maruziyet değerlerinin en çok kırıcı 1, kırıcı 2, kömür 1, kömür 2 ve döner fırın 1 ünitelerinde olduğu tespit edilmiştir. Ortam gürültü düzeylerinin ise özellikle kömür

değirmenlerinin ve kırıcı ünitelerinin bulunduğu yerlerde yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ortam gürültüsünün yüksek düzeyde olduğu ünite alanlarından geçiş yapacakların kişisel koruyucu donanımlarını takması ya da değirmen ve kırıcı çevresinde izolasyon tedbirlerinin alınması gürültü maruziyetinin azaltılmasını sağlayacaktır.

Sınır değerlerini aşan ünitelerde oluşan gürültünün yayılımını önlemek için gürültü emici malzemelerin ve engelleyici bariyerlerin kullanılması gürültü maruziyetinin azaltılmasında etkili olacaktır.

Fan ve basınçlı hava kompresörleri vb. kaynakların etraflarının uygun izolasyon malzemesi kullanılarak kapatılması mevcut gürültünün yayılmasını engellemede etkili olacaktır.

Aynı zamanda idari tedbir olarak maruziyet zamanının azaltılması, dinlenme ve çalışma süreleri ile ilgili düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Çalışanların kişisel gürültü maruziyetini indirmek için kulak koruyucu donanımların kullanılması işitme sağlığı açısından yararlı olacaktır aynı zamanda kişisel koruyucu ve donanımların kullanımı ile ilgili yapılan eğitim, denetim ve kulak koruyucuların etkinliğinin kontrol edilmesi işlemlerinin devamlılığının sağlanması önem arz etmektedir.

Tesiste kapasite artışı ya da yenilenme gibi durumlarda yapılacak yeni yatırımlarla herhangi bir ünitenin kurulması, makinaların yerleştirilmesi gibi çalışmalardan önce gürültü düzeyleri hesaba katılmalı ve kurulumlar elde edilen verilere göre yapılmalıdır.

Tesinin çalışma koşullarında herhangi bir değişikliğin olması durumunda mutlaka risk değerlendirme analizleri yapılmalı ve gürültü kaynaklarına ait ölçümler yenilenmelidir.

Kaynakça

- Arslan, V., (2017). *Konya Çimento Fabrikasında İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları*. Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Zonguldak, 02-03 Kasım, 758-773.
- Balcı, S. (2016). *Çimento Üretiminde Toz ve Gürültü Maruziyetinin Değerlendirilmesi*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 83s.
- Barron, R.F., (2003). *Industrial Noise Control and Acoustic*. Marcel Dekker Inc. 560p. New York.
- Çınar, İ., (2005). *Madencilikte Gürültü Analizi, Modellenmesi ve Haritalanması*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Çoşgun, T., Yükseli F.A., ve Çoşgun, A., (2008). *Tünel Kalıpla İnşa Edilen Binalarda Yaşanan Gürültü Problemleri Üzerine Bir Araştırma*. Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi, 1, 65-72.
- ÇSGB, (2013). *Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 6s, Ankara.
- Gengeç, E., (2005). *İş Sağlığı ve İş Güvenliği Açısından Hava ve Gürültü Kirliliği*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 148s.
- Güvercin, Ö., ve Aybek, A., (2003). *Taş Kırma ve Eleme Tesislerinde Gürültü Sorunu*. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 6, (2), 101-107.
- Hansen, C.H., (2001). *Fundamentals of Acoustics, in Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control*, (Goelzer, B., Hansen, C.H., Sehrndt, G.A., Eds.) Publication Series from the Federal Institute for Occupational Safety and Health, Document published on behalf of the World Health Organization-Dortmund, pp.23-52, Berlin.
- HİSAM, *İş Sağlığı Ve Güvenliği Meslek Hastalıkları Uygulama Ve Araştırma Merkezi* <http://www.hisam.hacettepe.edu.tr/ismeslek-hastaliklari/25GurultuveSaglikGBIK1-2.pdf>, (Erişim tarihi: 10.02.2018).
- İlgürel, N., ve Sözen, Ş.M., (2005). *Değişik Sanayi Kuruluşlarında Gürültünün Nesnel, Öznel ve Yönetmelikler Bağlamında İncelenmesi*. YTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2005, 1,(1), 9-17
- Öktem, R., (2017). *İş Sağlığı ve Güvenliği Ders Notları*. <http://comp.eng.ankara.edu.tr/files/2017/11/477-tr.pdf> (Erişim tarihi: 12.04.2020).
- Özey, R., (2014). *Çevre Sorunları*. Genişletilmiş 4. Baskı, Aktif Yayınevi, s. 302, İstanbul.
- Özguven, N., (1986). *Endüstriyel Gürültü Kontrolü*. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını, No.118, 178s. Ankara.
- Rençber, Y.S., (2019). *Bir Tekstil Fabrikasında Çalışan İşçilerin İş Sağlığı ve Güvenliği Konusundaki Bilgi Düzeyleri ve Sağlık Risklerinin Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 231s.
- Singh, N. ve Subhash C. Davar, (2004). *Noise Pollution-Sources, Effects and Control*. Journal of Human Ecology, 16(3), 181.
- Sönmez, H., (2018). *Çimento sektörü büyümeye devam ediyor*. <http://www.dunyainsaat.com.tr/haber/cimento-sektoru-buyumeye-devam-ediyor/24258> (Erişim tarihi: 22.09.2020).
- Tokdemir, M., (2019). *Sivas Votorantim Çimento Fabrikasının Bölümlerinin Gürültü Açısından Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 65s.
- Topçu, D.S., (2016). *Çimento Üretim Süreçlerindeki İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 121s.
- TS EN ISO-11204, (2012). *Akustik - Makina Ve Donanımdan Yayılan Gürültü - Bir İş İstasyonundaki Ve Benzer Çevresel Düzeltmeler Uygulanmış Belirtilen Diğer Konumlardaki Emisyon Ses Basınç Seviyelerinin Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 37s.
- TS-2607 ISO 1999, (2005). *Akustik – İş Yerinde Maruz Kalınan Gürültünün Tayini Ve Bu Gürültünün Sebep Olduğu İşitme Kaybının Tahmini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 26s.
- Ünal, T., (2018). *Çimento sektörü 2017 değerlendirmesi, 2018 Öngörülleri*. <http://www.yapimalzeme.com.tr/cimento-sektoru-2017-degerlendirmesi-2018-ongorulleri-ceis-yonetim-kurulu-baskani/> (Erişim tarihi: 22.09.2020).
- Vidinli, N., Özkan, E. K., Topçu, A. D., Yağmurluklu, Y., Gedikli, F. G. ve Kürçü, E. A., (2016). *Çimento Sektöründe Tozla Mücadele Rehberi*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 47s. Ankara.



Tornalamada Akustik Emisyon ve Motor Akımı Optimizasyonu ve Analizi

Abdullah Aslan^{1*}

^{1*} Selçuk Üniversitesi, Akşehir Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8348-3471),
aaslan@selcuk.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 31 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.894203)

ATIF/REFERENCE: Aslan, A. (2021). Tornalamada Akustik Emisyon ve Motor Akımı Optimizasyonu ve Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 50-57.

Öz

Tornalamada kesme parametrelerinin optimizasyonu, iş parçasının yüzey kalitesinin, üretim verimliliğinin ve takım ömrünün artırılması için oldukça önemlidir. Endüstriyel uygulamalarda oldukça fazla sayıda malzemenin talaşlı imalat alanında kullanılması sebebiyle bu malzemelerin verimli bir şekilde işlenebilmesi için kesme parametrelerinin optimizasyonu önemlidir. Ancak özellik birbirinden farklı birçok sektörde kritik yük taşıyan parçalarda kullanılan malzemelerin optimizasyonu elzemdir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında 5140 çeliğinin tornalanması için optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Deneysel kuru işleme koşullarında gerçekleştirilmiş olup 2 farklı kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme hızı ve yaklaşma açısı incelenmiştir. Kesme parametreleri, akustik emisyon ve akım sensörlerinden alınan verilerle değerlendirilmiş olup optimizasyon tekniği olarak Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca kesme parametrelerinin akustik emisyon ve akım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre kesme hızı motor akımı (70.8%) ve akustik emisyon (89.5%) üzerinde en etkili parametre olurken, istatistiksel analiz sonuçlarının hem motor akımı (92.5%) hem de akustik emisyon (95.9%) için yüksek güven aralığında olduğu görülmüştür. Optimizasyon sonuçlarına göre motor akımı ve akustik emisyonu minimum yapacak parametreler sırası ile $v_1f_1d_1\kappa_1$ ve $v_1f_1d_2\kappa_2$ olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akustik emisyon, Motor Akımı, Optimizasyon, Taguchi

Acoustic Emission and Motor Current Optimization and Analysis in Turning

Abstract

Optimization of cutting parameters in turning is very important for increasing the surface quality, production efficiency and tool life of the workpiece. In industrial applications, it is important to make an optimization study for each material because a large number of materials are used in the field of machining. However, the optimization of materials used in parts carrying critical loads in many different sectors is essential. Therefore, in the scope of this study, optimum cutting parameters for turning 5140 steel were determined. The experiments were carried out under dry machining conditions and 2 different cutting speeds, depth of cut, feed rate and approach angle were investigated. The cutting parameters were evaluated with the data obtained from the acoustic emission and flow sensors, and Taguchi method was used as the optimization technique. In addition, the effect of cutting parameters on acoustic emission and current has been investigated. According to the results, while cutting speed was the most influential parameter on engine current (70.8%) and acoustic emission (89.5%), statistical analysis results were found to be in a high confidence interval for both motor current (92.5%) and acoustic emission (95.9%). According to the optimization results, the parameters that will minimize the motor current and acoustic emission were determined as $v_1f_1d_1\kappa_1$ and $v_1f_1d_2\kappa_2$, respectively.

Keywords: Acoustic emission, Motor Current, Optimization, Taguchi

* Sorumlu Yazar: aaslan@selcuk.edu.tr

1. Giriş

Gelişmekte olan tüm yenilikçi imalat yöntemlerine (Şap, 2020; Şap, 2021) rağmen talaşlı imalat faaliyetleri halen endüstriyel faaliyetlerin merkezindedir (Salur ve ark., 2021). Endüstriyel faaliyetlerde kullanılan farklı özelliklerdeki sayısız malzemeyi işleyebilmek için kesici takım üreticileri farklı tiplerde ve özelliklerde kesici takımlar üretmektedir. Ancak her bir malzeme için, talaşlı imalatın yapılacağı tezgâha ve talaşlı işleme uyum optimizasyon çalışmasının yapılarak, imalat sürecinin daha verimli hale getirilmesi elzemdir (Salur ve ark., 2019; Acar ve ark., 2021). Çünkü talaşlı imalat süreci, birçok değişkene karşı oldukça duyarlıdır ve bu değişkenler kesici takımın hasara uğraması, takım tutucu hasarı, iş parçasının yüzey kalitesinin düşüşü ve tezgâh iş gücü kaybı gibi maddi kayıplara sebep olabilir (Uzun ve ark., 2018; Uzun ve Usca, 2018; Kuntoğlu ve ark., 2020). Bu durumu önleyebilmek için çeşitli sensörler yardımıyla veri toplanarak işleme parametreleri optimize edilebilir ve böylelikle talaşlı imalat süreci daha verimli bir hale getirilebilir (Aslan ve ark., 2019; Kuntoğlu ve Sağlam, 2019). Talaşlı imalat süreçleri, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, akustik emisyon (AE), titreşim, akım sensörü gibi veriler yardımıyla optimize edilerek, o işlem için en uygun kesme parametreleri elde edilebilir (Kuntoğlu ve Sağlam, 2020).

Akustik emisyon (AE), bir malzemedeki mikroyapısal hareketliliğin ve enerji salınımının bir ölçüsüdür. Bir malzemeye kuvvet uygulandığında içerisindeki dislokasyon hareketliliği sebebiyle gerinim oluşur ve bu hareketlilik te AE olarak adlandırılır. Talaşlı imalat açısından bakıldığında AE, tezgâhtan iş parçasını kesmek için iş parçasına verilen enerjinin mikroyapısal bir ölçüsüdür. AE sensörünün oldukça hassas bir sensör olması sebebiyle sensörün tezgâh üzerinde yerleştirileceği yer ve çıkan verilerin analizi noktasında bazı zorluklara sebebiyet verebileceği belirtilse de, bir çok araştırmacı tarafından kesici takım durumu izleme de en güvenilir sensörlerden birisi olduğu belirtilmiştir.

Chethan ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada Nimonic-75 malzemesinin tormalanması esnasında oluşan akustik emisyon sinyallerinin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu yapılmıştır. Taguchi L27 dizisinin kullanıldığı çalışmada kesme, ilerleme hızları ve talaş derinliği 3 farklı seviyede incelenmiştir. AE sinyallerinin değerlendirilmesi neticesinde en yüksek ilerleme hızı değerinin ve en düşük talaş derinliği değerinin en optimum kesme parametreleri olduğu bildirilmiştir. Fadare ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada akustik emisyon sinyallerinin sadece düşük kesme hızlarında değil yüksek kesme hızlarında da oldukça iyi sonuçlar verdiği ve kesme parametrelerine oldukça duyarlı olduğu, ayrıca takım aşınmasının takibi konusunda da güvenilir sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada, AE sinyallerinin sert malzemelerin tormalanmasında da oldukça iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Tönshoff ve ark., 2000). Bhuiyan ve ark. (2012) tarafından orta karbonlu çeliklerin torlanması ile ilgili yapılan çalışmada kesme parametrelerinin AE sinyalleri üzerine etkileri incelenmiş ve çalışma neticesinde AE sinyallerinin talaş derinliği ve ilerleme hızı arttıkça arttığı, bildirilmiştir. Chen ve Li (2007) tarafından yapılan çalışmada tormalama esnasında ortaya çıkan akustik emisyon sinyalleri farklı bir metod yardımıyla ayrıştırılarak daha güvenilir hale getirilmiştir. Daha verimli ve stabil hale getirilen AE sinyallerinin takım durumu izlemede çok daha güvenilir sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Ayrıca farklı kesici uçların AE sinyallerini nasıl etkilediği de incelenmiştir. AE

sinyalleri titreşim gibi diğer sensörlerle beraber adaptif kontrol çalışmaları da sıklıkla tercih edilmektedir. Sharma ve ark. (2008) tarafından yapılan FG-15 dökme demirinin 4 farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinde tormalanması ile ilgili çalışmada, adaptif sinir bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yardımıyla takım durumu izlenmiş ve bu süreçte AE sinyalleri kullanılmıştır. ANFIS yönteminde AE sinyallerinin kullanılabileceği fakat bir başka sensörle daha sistem desteklenirse çok daha güvenilir sonuçlar elde edilebileceği rapor edilmiştir.

Başaltın ve Yaman (2016) tarafından SAE 1030 çeliğinin tormalanması ile ilgili olarak yapılan çalışmada, kesme parametrelerinin AE üzerine etkileri incelenmiştir. Kesme derinliği sabit tutularak 3 kesme hızı ve 3 ilerleme hızı kullanılmıştır. Çalışma neticesinde kesme hızının artması ile gürültünün azaldığı bildirilmiş ve böylelikle akustik emisyon ile kesme parametrelerinin ilişkilendirilebileceği ayrıca takım aşınmasının da akustik emisyon sensörü yardımıyla izlenebileceği belirtilmiştir. Soğuk iş takım çeliklerinin tormalanması ile ilgili yapılan çalışmada (Li, 2002) kesme parametrelerinin optimize edilmesi için tek bir sensör kullanılmıştır (AE). Kesme hızı ve talaş derinliğinin sabit tutulup 4 farklı ilerleme hızının incelenildiği ve ilerleme hızı değeri arttıkça AE piklerinin azaldığı bildirilmiştir. Bu durumun talaşların ani plastik deformasyonun kaynaklandığı düşünülmektedir. Kuntoğlu ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada dinamometre, titreşim, akustik emisyon, sıcaklık ve motor akımları sensörleri takım durumu izlemek için kullanılmış ve yüzey cevap meodu yardımıyla optimizasyon yapılmıştır. Yapılan optimizasyon neticesinde %95,7 güvenilirlik oranı ile AE sensörünün en güvenilir sensör olduğu rapor edilmiştir.

Al-Habaibeh ve Gindy (2000) tarafından yapılan çalışmada AISI 5140 çeliğinin tormalanma maliyetini ve süresini azaltmak için Taguchi optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon yapabilmek için akustik emisyon, titreşim, akım ve kesme kuvveti sinyalleri toplanarak işlenmiştir. Bir diğer çalışmada akustik emisyon ve kesme kuvveti verilerinin kesici takım aşınmasına etkileri incelenmiş ve takım aşınması yapay sinir ağı (YSA) yöntemi optimize edilmiştir. YSA yönteminin 1045 çeliğinin akustik emisyon ve kesme kuvveti verileri ile optimizasyonun yapılmasında elverişli olduğu ve düşük hata oranları ile kesme parametrelerinin optimize edilebileceği bildirilmiştir (Jemielniak ve ark., 1998). Ahmed ve ark. (2019) tarafından paslanmaz çeliklerin tormalanması ile ilgili yapılan çalışmada, takım aşınması ve takım ömrü lineer olmayan regresyon analizi yardımıyla tahmin edilmiştir. Akustik emisyon verileri anlık olarak ölçülerek takım ömrü tahmininde giriş verisi olarak kullanılmış ve AE verilerinin takım durumu izlemede kesme kuvvetleri kadar güvenilir olduğu bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada, takım aşınması ile AE arasında doğrudan bir ilişki olduğu, takım aşınması arttıkça AE piklerinin de arttığı rapor edilmiştir (Bhuiyan ve ark., 2016).

Akım sensörü, diğer sensörlere kıyasla talaşlı imalatta takım durumu izleme konusunda daha az tercih edilen bir sensör olsa da kullanımının pratikliği, veri alımının kolaylığı ve bazı durumlarda oldukça iyi sonuçlar vermesi sebebiyle daha çok tercih edilmesi gereken bir sensördür. Özellikle diğer sensör verilerini destekleyici bir sensör olarak da tercih edilebilir. Li (2005) tarafından yapılan çalışmada pahalı bir sensör olan dinamometre yerine akım sensörünün kullanılıp kullanılmayacağı incelenmiş ve akım sensörü yardımıyla teğetsel, ekstenel ve radyal kesme kuvvetlerinin %10, 5 ve 25

hata oranları ile tahmin edilebileceği bildirilmiştir. Bir çalışmada akım sensörü, AE ve titreşim sensörlerini destekleyici bir sensör olarak kullanılmıştır (Al-Habaibeh ve Gindy, 2000). Talaşlı işleme esnasında takım aşınmasının artışına bağlı olarak hem AE sinyallerinin hem de motor akımı sinyallerinin arttığı ve buna bağlı olarak takım dumunun takip edileceği bildirilmiştir (Pimenov ve ark., 2019). 5140 çeliklerinin tormalanması ile ilgili yapılan çalışmada akım sensörünün %74,6 güvenilirlik oranı ile kullanılabileceği bildirilmiştir (Kuntoğlu ve ark., 2020).

Yapılan literatür araştırması göstermektedir ki en temel talaşlı imalat yöntemi olan tormalama da kesme parametrelerinin optimizasyonu ve kesici takımların anlık olarak takip edilmesi oldukça önemlidir. Böylelikle bir taraftan tüm talaşlı imalat sürecinin verimi artarken diğer yandan arzu edilen kalitede iş parçası elde edilebilir. Sürecin takibi için birçok sensörün kullanılabileceği literatür özetinde görülmektedir. Ancak diğer sensörlere kıyasla daha az tercih edilen akım sensörünün de kesme parametrelerinin optimizasyonunda kullanılabileceğini göstermek adına bu çalışma yapılmıştır.

Literatürdeki bu boşluğu doldurmak adına, bu çalışmada otomotiv sektöründen havacılık sektörüne kadar birçok alanda sıklıkla tercih edilen AISI 5140 çeliğinin tormalanması esnasında kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısının AE sinyalleri ve akım sensörü sinyalleri ile optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon metodu olarak Taguchi yöntemi kullanılmış ayrıca istatistiksel analiz için ANOVA tercih edilmiştir. Sonuçlar, talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan iki sensör verisine ait detaylı analiz ve optimum parametre seçimi için bir rehber görevi görmesi bakımından önem kazanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, orta karbonlu AISI 5140 çeliği kullanılmıştır. Otomotiv sektöründen inşaat sektörüne kadar bir çok alanda kullanılması ve buna bağlı olarak talaşlı imalata tabi tutulması sebebiyle bu malzeme tercih edilmiştir. Kullanılan malzemeler 80 mm çapında ve 400 mm uzunluğundadır. 5140 çeliği kullanım alanına göre farklı ısıl işlemlere maruz kalarak arzu edilen mekanik özelliklerin kazandırılabilmesi bir malzemedir. Bu çalışmada ise 32 ± 4 HRC sertlik değerine sahip bir 5140 çeliği seçilmiştir. Herbir deney için aynı geometride tek bir iş parçası kullanılarak elde edilen verilerin güvenilirliği artırılmıştır. Her bir iş parçasından ise 3 paso talaş kaldırılmıştır (yüzey tormalama). Kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1 de gösterilmektedir.

Talaş kaldırmak için BOEHLERIT TCMT 16T304-P25 kodlu kesici uç kullanılmıştır. Kesici uçlar her bir deney için 1 adet kullanılacak şekilde tamamlanmıştır. Tormalama işlemi De Lorenzo S547-8899 kodlu universal torna tezgahı kullanılmıştır ve deneyler kuru tormalama şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel tasarım "tam faktöriyel deney tasarım prensibi" dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışmada kesme derinliği (mm) kesme hızı (m/dk) ve kesme kenarı açısı (°) ikişer seviye olarak seçilmiş ve bu seviyelere ait değerler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. 5140 Çeliğinin kimyasal kompozisyonu

C	Cr	Si	Mn	Pmax	Smax
0.38-0.45	0.38-0.45	0.15-0.4	0.6-0.9	0.03	0.035

Tablo 2. Tormalamada kullanılan kesme parametreleri ve değerleri

Sembol	Parametreler	Seviye 1	Seviye 2
κ	Yaklaşma Açısı (°)	90	60
v	Kesme Hızı (m/dk)	500	350
f	İlerleme Hızı (mm/dev)	0.1	0.06
d	Talaş derinliği (mm)	2	1.5

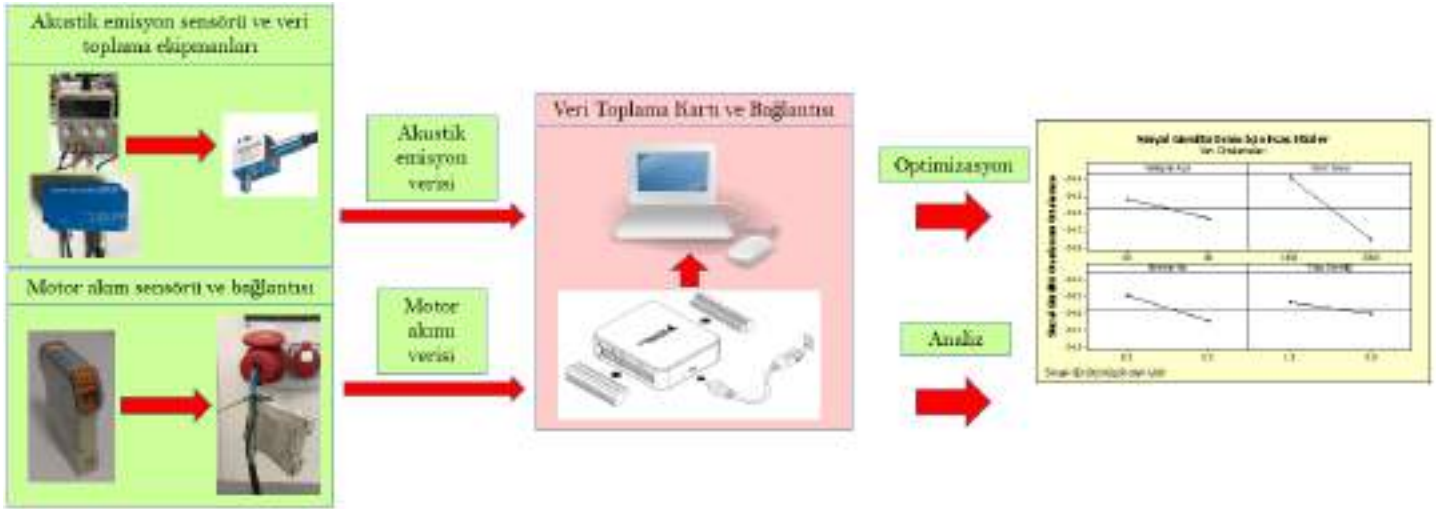
Akustik emisyon ölçümleri için Kistler 8152B111-Switzerland kodlu akustik emisyon sensörü kullanılmıştır ve bu sensör ile 50-400 kHz aralığında ölçüm yapılabilmektedir. Sensör, ölçülen sinyallerin güvenilirliğini artırmak için kesici takımın hemen yanına yerleştirilmiştir. Sensör dış ortam gürültülerini izole piezoelektrik algılama prensibi ile çalışmaktadır. Sensörden alınan veriler veri toplama kartı vasıtasıyla toplanarak bilgisayara aktarılıp bilgisayar ortamında değerlendirilmektedir. Buna ek olarak verilerin akatarımı sürecinde Kistler 5125 kodlu kuplör ve Saintech 3003 güç kaynağı da yardımcı olarak kullanılmıştır.

Motor akımı ölçümleri Weidmüller WAS2 CMA 5/10A kodlu akım sensörü kullanılmıştır. Akım sensöründen alınan veriler aktarım kablosu ile veri kartında toplanıp bilgisayar ortamına gönderilmiştir. Akım sensörü, tezgaha giden ana akım kablosuna yerleştirilmiştir. Sensör aralık etkisi prensibine göre çalışmakta olup aktarım kablosu etrafında oluşan manyetik alanın ve gerilimin ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Sensörlerden toplanan veriler öncelikle bir veri toplama kartına (National Instruments USB-6003) aktarılmış, daha sonra veri işlemek için bir yazılım programı arayüzünde (Signal Express) gürültü giderme, ortalama alma (Sigview) ve kaydedilme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan sensörler ve izlenen adımlar Şekil 1 de'ki akış diyagramında tarif edilmektedir.

Optimizasyon, mühendislik problemlerinin çözümünde oldukça sık kullanılan ve bir kalite karakteristiği için en iyi parametrelerin elde edilmesini sağlayan bir yaklaşımdır. Bu çalışmada akustik emisyon ve motor akımı kalite karakteristikleri olarak belirlenmiş, tormalama kesme parametrelerinin yanısıra takım geometrisini temsilen yaklaşma açısı optimizasyonu yapılmıştır. Bu maksatla Taguchi sinyal gürültü oranı kullanılmıştır. Taguchi yöntemi bilhassa talaşlı imalatta kullanıma oldukça elverişli olan ve güvenilir sonuçlar veren bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır.

İstatistiksel analiz bir deneysel sonuç üzerinde girdi parametrelerinin ne oranda etkili olduğunu gösteren ve bu bakımdan karmaşık talaşlı imalat işlemlerinde sıklıkla tercih edilen bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Varyans analizi ise çeşitli istatistiksel hesaplamaları içerisinde barındıran bir yöntem olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Farklı hesaplama yöntemleri analizin içerisinde değerlendirilerek karşılaştırma yapılması ve elde edilen sonuçların teyit edilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 1. Deneysel çalışmanın akış diyagramı

Tablo 3. Kesme parametreleri ve elde edilen sonuçlar

Deney No / Parametre	Yaklaşma Açısı	Devir Sayısı	İlerleme Hızı	Talaş Derinliği	Akım (Hz)	Akustik Emisyon (kHz)
1	90	2000	0.2	2	55.12	71.56
2	90	2000	0.2	1.5	54.91	69.56
3	90	2000	0.1	2	54.87	65.77
4	90	2000	0.1	1.5	54.66	66.74
5	90	1400	0.2	2	54.1	54.87
6	90	1400	0.2	1.5	53.15	56.12
7	90	1400	0.1	2	52.14	55.11
8	90	1400	0.1	1.5	52.11	51.93
9	60	2000	0.2	2	55.1	70.23
10	60	2000	0.2	1.5	54.81	68.49
11	60	2000	0.1	2	54.55	64.82
12	60	2000	0.1	1.5	53.15	68.97
13	60	1400	0.2	2	52.66	56.84
14	60	1400	0.2	1.5	52.11	58.63
15	60	1400	0.1	2	51.39	51.13
16	60	1400	0.1	1.5	51.73	53.87

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırma sonuçlarının detaylı analizi ve optimizasyonu literatürdeki çalışmalarla kıyaslanması ve gelecekteki çalışmalara ışık tutması bakımından önem kazanmaktadır. Bu bölümde elde edilen sensör verilerinin parametre optimizasyonu ve istatistiksel analizi ayrı ayrı incelenecektir. Tablo 3'te kesme parametreleri ve elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

3.1. Motor Akımı Analizi ve Optimizasyonu

Motor akımı talaşlı imalatta takım tezgahlarının ana millerinin işlevini yerine getirebilmesi için gerekli enerjiyi sağlayan motordan geçen akımı ifade etmektedir. Diğer imalat yöntemleri ile kıyaslandığında güç tüketiminin çok fazla olduğu gözlenen talaşlı imalatta motor akımının tespit edilmesi güç tüketimini ve dolayısı ile maliyeti hesaplama noktasında büyük önem arz etmektedir. Günümüzde popülerliğini artıran sürdürülebilir imalat için göz önünde bulundurulması gereken olmazsa olmaz faktörlerden birisi güç tüketimidir. Bu bakımdan

motora akımının belirlenmesi ve optimize edilmesi imalat sektörüne ciddi katkı sağlayacaktır (Kuntoğlu ve ark., 2020).

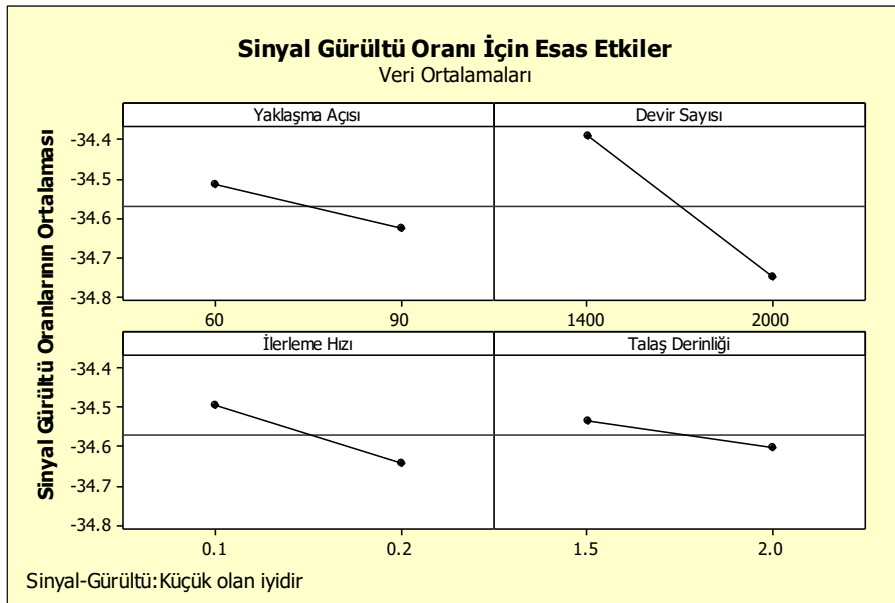
Bu çalışmada tornalama esnasında anlık olarak ölçülen motor akımı işleme süresince kaydedilmiş olup, daha sonra analizi ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tablo 4, tornalamada kesme parametreleri ve yaklaşma açısının motor akımı üzerindeki katkılarını göstermektedir. SD, serbestlik derecesidir. KT, kareler toplamı anlamına gelir. Her bir kesme parametresinin KT üzerinde etkisi vardır. OK, ortalama kareler anlamına gelir ve KT değerlerinin serbestlik derecesi değerlerine bölünmesi ile bulunur. F-değeri OK değerlerinin ortalama kare hata değerine bölünmesi ile elde edilir. Yüksek bir F değeri, o parametrenin etkinliğinin yüksek olduğunu gösterir. P değeri deneysel güvenilirlik ile ilgili bir değerdir ve 0,05 in altında olması güvenli olduğunu göstermektedir. Yüzde katkı değeri her bir parametreye ait kareler toplamı değerinin toplam değere bölünmesi ile bulunur. Buradan hareketle devir sayısının motor akımı üzerinde en etkili parametre olduğu görülmektedir. Devir sayısı özellikle tornalama işleminde talaş kaldırma işleminin gerçekleştirilebilmesi için iş parçasına gerekli enerjiyi sağlayan parametre olarak bilinmektedir. Devir sayısının artması, kesme sıcaklıklarını artıracığından malzeme deformasyonunu kolaylaştırır (Aslan, 2020; Kuntoğlu ve ark., 2021). Klasik bir tornalama işleminde talaş kaldırmayı sağlayan esas hareket olan iş parçası devri, bu vesileyle hareketi ileten motor üzerinde en yüksek akımın oluşmasına sebep olmaktadır (Kuntoğlu ve Aslan, 2021). Devir sayısını takiben ilerleme hızı ve yaklaşma açılarının etkili olduğu görülmektedir. Yine de devir sayısının etkisi ile kıyaslandığında bu parametrelerin motor akımı üzerinde oluşturduğu katkının çok az olduğu göze çarpmaktadır. P değeri değerlendirildiğinde 95% güven aralığında devir sayısı, ilerleme hızı ve yaklaşma açılarının önem arz ettiği görülmektedir. İlerleme hızı da talaş kaldırma esnasında bilhassa kesme kuvvetleri üzerinde etkisi olan bir parametredir. Bu nedenle bu parametredeki değişimin motor akımı üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. F değerleri

incelendiğinde görüleceği üzere devir sayısı en etkili parametre olarak gözükmektedir.

Çalışmada optimizasyon için sinyal gürültü oranına dayalı bir analiz yapılmış ve Taguchi metodu kullanılmıştır. Burada esas amaç değerlendirilen çıktı parametresinden beklentiyi belirlemek ve optimizasyonun minimizasyon ya da maksimizasyon yönünde olacağına karar vermektir. Motor akımının artışı kesme için gerekli gücü artıracığı ve bu da işleme maliyetini doğrudan etkileyeceği için bu parametreyi minimumda tutmak gerekmektedir. Bu maksatla amaç fonksiyonlarından en küçük olan en iyidir prensibi seçilerek hesaplama yoluna gidilmiştir. Şekil 2’de sinyal gürültü oranı için esas etkiler veri ortalamalarına göre gösterilmiştir. Buna göre sinyal gürültü oranı yüksek olan parametre seviyesi arzu edilen değer olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre değerleri seçildiğinde motor akımının optimum değerinin elde edilebileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuç, endüstride yaygın kullanılan bir malzemenin tornalanması sürecinde meydana gelen motor akımı ve buna bağlı belirlenebilecek güç tüketimi üzerinde parametrelerin etkisini belirlemek açısından önemlidir.

Tablo 4. Sinyal Gürültü oranı için varyans analizi sonuçları

Parametre	SD	KT	OK	F-de.	P.de.
Yakl. Açı.	1	0.05159	0.051587	10.32	0.008
Dev. Say.	1	0.52171	0.521710	104.38	0.000
İler. Hızı	1	0.09018	0.090176	18.04	0.001
Tal. Deri.	1	0.01762	0.017618	3.52	0.087
Hata	11	0.05498	0.004998	-	-
Toplam	15	0.73607	-	-	-



Şekil 2. Sinyal gürültü oranı için en esas etkiler

3.2. Akustik Emisyon Analizi ve Optimizasyonu

Akustik emisyon mikro boyutta çok yüksek frekanslı gerilme dalgası yayılımıdır. Malzemede plastik deformasyon meydana getirecek bir dış kuvvet uygulandığında yüksek frekanslı gerilme dalgası meydana gelmektedir. Bu durum talaşlı imalat işlemlerinde takım temas bölgelerinde aşınmanın oluşması ile başlar ve bu süreçte talaş oluşumu, talaş karışması, talaş kırılması ve takım kırılması gibi olaylarla tetiklenebilmektedir. Akustik emisyon sinyalleri genel olarak iki farklı tipte gözlenmektedir. Aşınma, plastik deformasyon, talaş oluşumu gibi olaylar akustik emisyonda küçük değişimler meydana getirirken, kırılma gibi büyük deformasyona sebep olan olaylar ise büyük değişimlere neden olmaktadır (Kuntoğlu ve ark., 2020; Kuntoğlu ve ark., 2021). Bu sebeple akustik emisyon sinyallerinin çok yüksek değerlere ulaşması arzu edilmez. Akustik emisyon sinyalleri takım kırılmasının tespit edilmesinde oldukça hassastır. Kesme süresince meydana gelen değişimlerin anlık olarak takibinde etkili olarak kullanılabilen akustik emisyon parametrelerinin optimizasyonu ve analizi oldukça önemlidir. Bu şekilde akustik emisyon verilerinin detaylı analizi yapılarak sinyal üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ani takım kırılmalarının önüne geçilmesi bakımında önem kazanmaktadır.

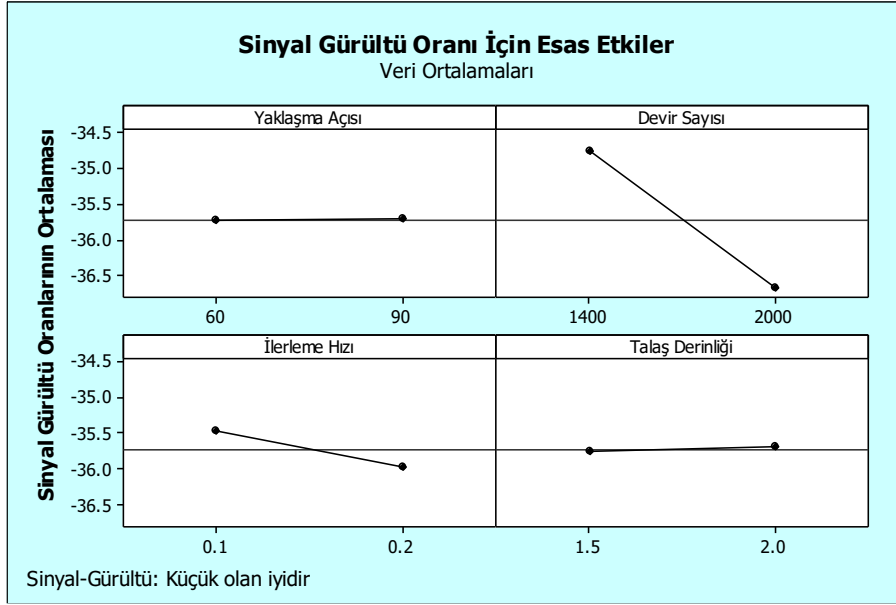
Tablo 5 sinyal gürültü oranı için varyans analizi sonuçlarını özetlemektedir. Buna göre akustik emisyon üzerinde en etkili parametre devir sayısıdır. Devir sayısının artması kesme

kuvvetlerini azaltarak talaş kaldırma işlemini kolaylaştırmaktadır. Talaş kaldırma operasyonu temel olarak bir plastik deformasyon işlemidir. Buradan hareketle artan kesme hızındaki değişime bağlı olarak akustik emisyon sinyallerinin dalgalanmaya maruz kalacağı düşünülmektedir. Yüzde katkı oranı hesaplandığında 89.5% oranında devir sayısının akustik emisyon üzerinde etkili olduğu görülmektedir. İlerleme hızının kesme hızını takip ettiği, talaş derinliği ve yaklaşma açısının çok az bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. P değerlerine bakıldığında her iki parametrenin 95% güven aralığında olduğu anlaşılmaktadır. F değerlerine bakıldığında P değeri yüzde katkı değerleri ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.

Optimizasyon yaklaşımı Taguchi metodu ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te sinyal gürültü oranı için en esas etkiler gösterilmiştir. Sinyal gürültü oranı kullanılarak en küçük en iyidir prensibi uyarınca hesaplama yapılmıştır. Sonuçlara göre $v_1 = 1400$ dev/dak, $f_1 = 0.1$ mm/dev, $d_2 = 2$ mm, $\kappa_2 = 90^\circ$ parametreleri seçildiğinde akustik emisyonun minimize edilebildiği görülmektedir. Yüksek devir sayısında malzeme deformasyon hızının artmasına bağlı olarak akustik emisyonun arttığı düşünülmektedir. Benzer bir etkiyi daha az olacak şekilde ilerleme hızı da yapmaktadır. Talaş derinliği ve yaklaşma açısı parametre seviyeleri arasında ihmal edilebilecek bir fark olduğu görülmektedir.

Tablo 5 Sinyal Gürültü oranı için varyans analizi sonuçları

Parametre	SD	KT	OK	F-değeri	P-değeri
Yaklaşma Açısı	1	0.0029	0.0029	0.05	0.831
Devir Sayısı	1	14.5949	14.5949	240.74	0.000
İlerleme Hızı	1	1.0095	1.0095	16.65	0.002
Talaş Derinliği	1	0.0228	0.0228	0.38	0.552
Hata	11	0.6669	0.0606	-	-
Toplam	15	16.2970	-	-	-



Şekil 3. Sinyal gürültü oranı için en esas etkiler

4. Sonuç

Bu çalışmada talaşlı imalat işlemlerinden biri olan tornalamada endüstriyel çalışmalarda sıklıkla tercih edilen AISI 5140 malzemenin işlenmesi süresince toplanan motor akımı ve akustik emisyon sinyallerinin ölçümü, değerlendirilmesi ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Akustik emisyon ve motor akımı talaş kaldırma esnasında işlem hakkında önemli bilgi kaynağı olarak kullanılabilen çıktılardır. Bununla beraber diğer işlenebilirlik kriterleri kadar çok çalışma olmadığı görülmektedir. Literatüre bakıldığında bu sensörlere dayalı imalat işlemlerinin oldukça önemli bilgi kaynağı olduğu gözlenmektedir. Bu kapsamda çalışma spesifik bir malzemenin tornalanması sürecinde motor akımı ve akustik emisyon verilerini ele alması bakımından ilk olma özelliği taşımaktadır. Çalışma sonucunda yapılan çıkarımlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Motor akımı işleme esnasında harcanan gücün hesaplanmasında önemli bir veri kaynağıdır. Tornalama süresince devir sayısının motor akımı üzerinde en etkili parametre olduğu görülmüştür (70.8%). İlerleme hızı ve yaklaşma açısının istatistiksel olarak önemli olduğu P değeri yardımı ile görüle de katkı değeri bakımından kesme hızına kıyasla çok küçük bir etkilerinin olduğu tespit edilmiştir.
2. Taguchi sinyal gürültü oranı ile hesaplanan sonuçlara göre $v_1 = 1400$ dev/dak, $f_1 = 0.1$ mm/dev, $d_1 = 1.5$ mm ve $\kappa_1 = 60^\circ$ değerleri seçildiğinde optimum motor akımı değerinin elde edilebileceği görülmüştür.
3. Akustik emisyon malzemede mikro boyutta plastik deformasyon, kırılma, çatlak, sürünme, talaşlı imalat penceresinden bakıldığında ise talaş karışması, kırılması, takım kırılması gibi etkileri çok hassas olarak ölçmeyi sağlayan bir sensör verisi olarak öne çıkmaktadır.

4. Optimizasyon sonuçlarına göre akustik emisyon minimizasyonu için seçilmesi gereken kesme parametreleri $v_1 = 1400$ dev/dak, $f_1 = 0.1$ mm/dev, $d_2 = 2$ mm, $\kappa_2 = 90^\circ$ şeklindedir.

Kaynakça

- Acar, O., Sağlam, H. ve Şaka, Z., 2021, Measuring Curvature of Trajectory Traced by Coupler of An Optimal Four-Link Spherical Mechanism, *Measurement*, 109189.
- Ahmed, Y. S., Alam, M. S., Arif, A. ve Veldhuis, S., 2019, Use of acoustic emission and cutting force signals to monitor built-up edge formation in stainless steel turning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103 (5), 2257-2276.
- Al-Habaibeh, A. ve Gindy, N., 2000, A new approach for systematic design of condition monitoring systems for milling processes, *Journal of materials processing technology*, 107 (1-3), 243-251.
- Aslan, A., Salur, E., Gunes, A., Sahin, O., Karadag, H. ve Akdemir, A., 2019, The mechanical properties of composite materials recycled from waste metallic chips under different pressures, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (9), 5259-5266.
- Aslan, A., 2020, Optimization and analysis of process parameters for flank wear, cutting forces and vibration in turning of AISI 5140: A comprehensive study, *Measurement*, 163, 107959.
- Başaltın, M. ve Yaman, K., 2016, Tornalamada Takım Yanak Aşınmasının Akustik Emisyon (AE) Yöntemiyle Analizi, 1st international Mediterranean Science and Engineering Congress, 2138-2138, ID:65.
- Bhuiyan, M., Choudhury, I. ve Nukman, Y., 2012, Tool condition monitoring using acoustic emission and vibration signature in turning, *Proceedings of the world congress on engineering*, 1-5.

- Bhuiyan, M., Choudhury, I. A., Dahari, M., Nukman, Y. ve Dawal, S., 2016, Application of acoustic emission sensor to investigate the frequency of tool wear and plastic deformation in tool condition monitoring, *Measurement*, 92, 208-217.
- Chen, X. ve Li, B., 2007, Acoustic emission method for tool condition monitoring based on wavelet analysis, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33 (9-10), 968-976.
- Chethan, Y., Ravindra, H. ve Krishnegowda, Y., 2019, Optimization of machining parameters in turning Nimonic-75 using machine vision and acoustic emission signals by Taguchi technique, *Measurement*, 144, 144-154.
- Fadare, D., Bonney, J. ve Ezugwu, E., 2012, Influence of cutting parameters and tool wear on acoustic emission signal in high-speed turning of Ti-6Al-4V Alloy, *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 3 (3), 547-555.
- Jemielniak, K., Kwiatkowski, L. ve Wrzosek, P., 1998, Diagnosis of tool wear based on cutting forces and acoustic emission measures as inputs to a neural network, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9 (5), 447-455.
- Kuntoğlu, M. ve Sağlam, H., 2019, Investigation of progressive tool wear for determining of optimized machining parameters in turning, *Measurement*, 140, 427-436.
- Kuntoğlu, M., Aslan, A., Sağlam, H., Pimenov, D. Y., Giasin, K. ve Mikolajczyk, T., 2020, Optimization and analysis of surface roughness, flank wear and 5 different sensorial data via Tool Condition Monitoring System in turning of AISI 5140, *Sensors*, 20 (16), 4377.
- Kuntoğlu, M. ve Sağlam, H., 2020, Investigation of Signal Behaviors for Sensor Fusion with Tool Condition Monitoring System in Turning, *Measurement*, 108582.
- Kuntoğlu, M., Aslan, A., Pimenov, D. Y., Usca, Ü. A., Salur, E., Gupta, M. K., Mikolajczyk, T., Giasin, K., Kapłonek, W. ve Sharma, S., 2021, A Review of Indirect Tool Condition Monitoring Systems and Decision-Making Methods in Turning: Critical Analysis and Trends, *Sensors*, 21 (1), 108.
- Kuntoğlu, M. ve Aslan, A., 2021
- AISI 5140 Çeliğinin Tornalanması Esnasında Yaklaşma Açısı ve Kesme Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 1-1.
- Li, X., 2002, A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2), 157-165.
- Li, X., 2005, Development of current sensor for cutting force measurement in turning, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 54 (1), 289-296.
- Pimenov, D. Y., Hassui, A., Wojciechowski, S., Mia, M., Magri, A., Suyama, D. I., Bustillo, A., Krolczyk, G. ve Gupta, M. K., 2019, Effect of the relative position of the face milling tool towards the workpiece on machined surface roughness and milling dynamics, *Applied Sciences*, 9 (5), 842.
- Salur, E., Aslan, A., Kuntoglu, M., Gunes, A. ve Sahin, O. S., 2019, Experimental study and analysis of machinability characteristics of metal matrix composites during drilling, *Composites Part B: Engineering*, 166, 401-413.
- Salur, E., Acarer, M. ve Şavkliyildiz, İ., 2021, Improving mechanical properties of nano-sized TiC particle reinforced AA7075 Al alloy composites produced by ball milling and hot pressing, *Materials Today Communications*, 102202.
- Sap, E., 2020, Microstructural and Mechanical Properties of Cu-Based Co-Mo-Reinforced Composites Produced by the Powder Metallurgy Method, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29 (12), 8461-8472.
- Sharma, V. S., Sharma, S. ve Sharma, A. K., 2008, Cutting tool wear estimation for turning, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19 (1), 99-108.
- Şap, E., 2021, Güçlendirilmiş Bakır Esaslı Kompozit Malzemelerin Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri, *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (1), 590-598.
- Tönshoff, H., Jung, M., Männel, S. ve Rietz, W., 2000, Using acoustic emission signals for monitoring of production processes, *Ultrasonics*, 37 (10), 681-686.
- Uzun, M., Munis, M. M. ve Usca, U., 2018, Different ratios CrC particle-reinforced Cu matrix composite materials and investigation of wear performance, *Journal of Engineering Research and Application*, 8 (7), 1-7.
- Uzun, M. ve Usca, U. A., 2018, Effect of Cr particulate reinforcements in different ratios on wear performance and mechanical properties of Cu matrix composites, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40 (4), 1-9.



Yerli Elektrikli Aracın Elektrik Sarfiyatını Güneş ve Rüzgâr Enerjisi ile Karşılama Potansiyeli

Hüseyin Gürbüz^{1*},

^{1*} Şırnak üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şırnak, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3561-7786), huseyinnurbuz@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 15 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.896937)

ATIF/REFERENCE: Gürbüz, H. (2021). Yerli Elektrikli Aracın Elektrik Sarfiyatını Güneş ve Rüzgâr Enerjisi ile Karşılama Potansiyeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 58-69.

Öz

Son yıllarda elektrikli araçların dünya genelinde artması paralelinde enerji ihtiyacı da artmıştır. Türkiye bu alana TOGG yerli elektrikli araç (EA) ile hızlı ve başarılı bir giriş yapmayı planlamaktadır. Fakat EA'lerin sayısının artması ile ülkemizin de enerji ihtiyacı artacaktır. Bu araştırmada yerli EA'lerin özelliklerine bağlı olarak araç sayılarına göre günlük ilave elektrik sarfiyatı hesaplanmıştır. Türkiye'de dünyadaki gelişmelere bağlı olarak 20 yılın içinde 1 milyon adete ulaşması öngörülmektedir. Bu çalışmadaki yapılan araştırmada 1, 100 bin ve 1 milyon aracın günlük elektrik sarfiyatı hesaplanmıştır. Bu ilave enerji tüketimini güneş enerji ve rüzgâr enerjisi ile karşılanabilme potansiyeli araştırılmıştır. Sonuç olarak ilave elektrik sarfiyatının tamamını potansiyel güneş enerjisi ile karşılamak için yaklaşık 1000 kW gücünde 5 milyon adet güneş paneline ve potansiyel rüzgâr enerjisi ile karşılamak için 2.159 MW gücünde yaklaşık 1390 adet rüzgâr türbinine ihtiyaç olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Togg elektrikli araç, Enerji tüketimi, Güneş enerjisi, Rüzgâr enerjisi.

The Potential of Providing of Electricity Consumption of The Domestic Electric Vehicle with Solar and Wind Energy

Abstract

In recent years, the increase in the need for energy has increased in parallel with the increase of electric vehicles worldwide. Turkey has made a fast and successful entry into this field with the TOGG domestic electric vehicle (EA). However, with the increase in the number of EVs, the need for energy in our country will increase. In this research, daily additional electricity consumption was calculated according to the number of vehicles, depending on the characteristics of the TOGG Evs. In Turkey, depending on the developments in the world, it is seen that it will reach 1 million pieces within 20 years. In the research, daily electricity consumption of 1 vehicle, 100 thousand and 1 million vehicles was calculated. The potential for meeting this additional energy consumption with solar energy and wind energy was investigated. As a result, it was found that 5 million solar panels with approximately 1000 kW power were needed to meet all of the additional electricity consumption with potential solar energy and approximately 1390 wind turbines with 2,159 MW power were needed to meet with potential wind energy.

Keywords: Togg electric vehicle, Energy consumption, Solar energy, Wind power

* Sorumlu Yazar: huseyinnurbuz@sirnak.edu.tr

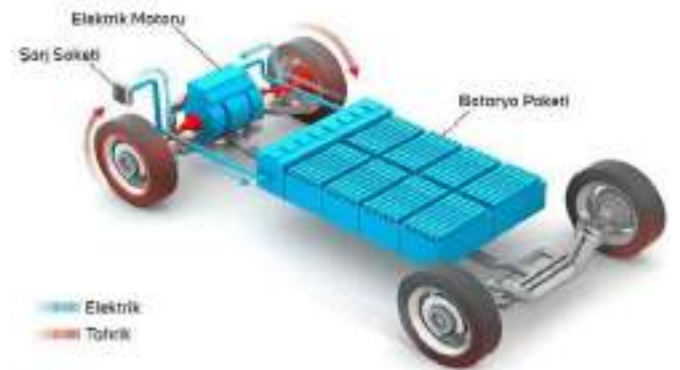
1. Giriş

İnsan ve çevre sağlığı açısından emisyonların olumsuz etkileri oldukça fazladır. Nox, CO ve HC gibi emisyonların özellikle insan sağlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı olarak önemli zararları vardır (Ozsezen & Canakci, 2011). Ulaşım ve sanayide fosil yakıtların kullanılması, CO₂, CH₄, N₂O, O₃, Nox gibi sera gazları (GHG) emisyonları için iklim ısınmasına neden olan önemli bir antropojenik kaynaktır (Allen et al., 2018; Behrentz et al., 2004). Ayrıca dünya genelinde 2018 yılında salınan CO₂ emisyonunun %24'ü ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır (Teter et al., 2020). Ayrıca dünya çapındaki enerji üretiminin yaklaşık% 75'inin fosil yakıtlardan sağlandığı tahmin edilmektedir (Eriksson & Gray, 2017; Manoharan et al., 2019). Son yıllarda fosil yakıtlara alternatif enerji kaynakları olarak kaya gazı kullanımı artmıştır (Cellek, 2020). Ulaşım sektöründe fosil yakıt kaynaklı zararlı emisyonların etkileri azaltmak için yeni standartlar getirilmektedir. Özellikle binek araçlarda emisyon standartları giderek sıkılaşmaktadır. Euro 6 düzenlemesinde partikül madde (PM) emisyonlarını artırmadan Nox emisyonlarında 0.180 g/km'den 0.080 g/km'ye (%55) azalma öngörülmektedir (Williams & Minjares, 2016). Özellikle dizel yanma, yüksek sıcaklıklar yarattığı için sera gazı etkili olan Nox emisyonuna neden olur (Pedrozo et al., 2016). Fakat Avrupa Birliği tarafından yayınlanan raporda 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarını %60 azaltmayı hedeflemesine rağmen, 2010 hedeflerinin gerisinde kalmıştır (EEA, 2019). İçten yanmalı motorlarda kirletici emisyonları azaltmak için konvansiyonel yakıtlara ek olarak hidrojen, etanol, metanol, sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG), sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve biyoyakıtlar gibi alternatif yakıtlar kullanılabilmektedir (Bae & Kim, 2017; Gürbüz & Sandalcı, 2019; Martins & Brito, 2020). Ayrıca emisyonların oluşumunu engellemek veya azaltmak için yakıt enjeksiyon stratejileri, EGR, silindir içine su püskürtme, katalitik konvertör, sıkıştırma oranını değiştirme ve yakıt enjeksiyon basıncını değiştirme gibi birçok alternatif metod uygulanabilmektedir (Brijesh & Sreedhara, 2013; Keskin & Emiroğlu, 2016). Fakat artan taşıt sayısına bağlı olarak kirletici emisyonların oranı da artmaktadır. Hibrit ve elektrikli araçlar emisyonlarla mücadele çok önemli ivme kazandırmıştır (Z. Sun et al., 2020). Yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV) ve bataryalı elektrikli araçlar (BEV) içten yanmalı motorlara ideal alternatif çözümlerdir (Gürbüz, 2020). Yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV'ler), geleneksel içten yanmalı araçlara kıyasla emisyonları %99.2 oranında azaltabilir (Z. Sun et al., 2020). Dünya genelinde emisyon standartlarının sıkılaşması ve bataryalardaki yeni olumlu gelişmeler nedeniyle elektrikli araçlara (EA) yönelik trend son dönemde önemli bir ivme ile artmaya başladı. Hibrit elektrikli araçlar (HEV'ler) ve bataryalı elektrikli araçlar (BEV'ler) yaygın EA türleridir. Ayrıca bataryalı elektrikli araçlarda piller şarj edilebilirler (López et al., 2019; Martínez-Lao et al., 2017). Fakat şekil 1 de görülen hibrit araçlarda ek güç kaynağı ve menzile katkı sağlamak amacıyla içten yanmalı motorlar kullanıldığı için yakıt tüketimi ve kirletici

emisyonları azaltsa da sıfırlanmamıştır (Huang et al., 2019; Rezaei et al., 2017; C. Sun et al., 2017). Tamamen elektrikli araçlarda ise konvansiyonel yakıt kullanımı olmadığı için HC, CO, Nox ve partikül madde gibi ana kirletici emisyonlar söz konusu değildir. Elektrikli araçların (EA) (Kısaltma daha önce kullanılmış) genel yapısı şekil 2'de görüldüğü gibi elektrik motoru ve batarya olmak üzere iki ana elmandan oluşmaktadır (BMW, 2021). Ayrıca EA enerji gereksinimini bataryalarda depolanan elektrik enerjisinden sağlar (Civles & İrem, 2018; Sayın & Yüksel, 2011). Fakat Elektrikli araçlarda en büyük sorun bataryaların kapasitesi ve verimliliğidir (Ghosh, 2020). Bataryaların kapasitesi ve elektrik motorun gücüne bağlı olarak EA menzili belirlenir (Mruzek et al., 2016; Traub, 2011). Piyasada bulunan EA'nın menzili ortalama 350 km'dir. EA'nın tarihi oldukça eski olmasına rağmen bataryaların kapasite sorunu, maliyet yüksekliği ve şarj istasyonu alt yapı eksikliği ve menzile sorunları nedeniyle geri plana atılmasına rağmen son yıllarda konvansiyonel araçlar için uygulanan emisyon standartları giderek sıkılaşması bu araçları yeniden ön plana çıkarmıştır. Dolayısıyla bazı araç üreticileri elektrikli araç üretimine yönelmiştir. Bu firmalara Türkiye'nin otomobili alt başlığı ile TOGG firması da güçlü bir ivmeyle katılım sağlamıştır (TOGG, 2020).



Şekil 1 Hibrit elektrikli aracın ana bileşenleri

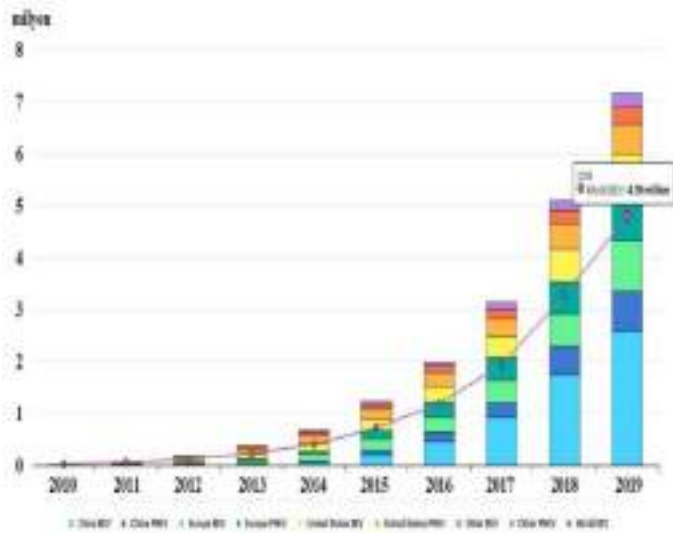


Şekil 2 Tamamen elektrikli aracın ana bileşenleri



Şekil 3 TOGG elektrikli araç batarya yerleşimi

TOGG kendi ürettiği prototipi üretilen araç üzerinde konumu Şekil 3'te gösterilen yüksek enerjili Lityum-iyon teknolojili 45 kWh ve 90 kWh bataryalar ile araç menzilin 500+ km'ye kadar uzatmıştır. Ayrıca TOGG EA'nın Tablo 1 de gösterildiği gibi 150 kW ve 300 kW gücünde elektrik motoruna sahiptir (TOGG, 2020). Ayrıca birçok yeni donanımla aracı ile kendi sınıfında üst seviyelere çıkacağı gözükmemektedir. Dünya pazarında elektrikli araç sayısı şekil 4 görüldüğü gibi 2018 yılında %2 artış ile 1 milyon araca, 2019 yılında 4.79 milyona ve 2020 yılında ise 7 milyona ulaşmıştır (Agency EA, 2019; Deloitte, 2019; IEA, 2019).



Şekil 4 EA'ların 2010-2019 yılları arasında ki sayısı

Elektrikli araç sayısı 2025 yılına kadar dünya genelinde 12 milyonu geçeceği öngörülmektedir (Adler, 2021). Ayrıca yapılan bazı modellemelere göre dünya geneli elektrikli araç sayısı 2030 yılında 120 milyon âdeti bulabileceği hesaplanmıştır (Çobanoğlu et al., 2021). Türkiye'de bulunan trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayısı 2018 yılında yaklaşık %27 artış ile 833 âdete, 2020 yılı itibari ile 1012 âdete ulaşmıştır (Saygın et al., 2019). Türkiye'deki EA sayısı 2025 yılında 100 bin, 2027 yılında 220 bin ve 2030 yılında 550 bin âdete ulaşacağı öngörülmektedir (Saygın et al., 2019). Bu sayı gerek yerli elektrikli araç için yapılacak teşvikler ile gerekse de dizel araç gibi içten yanmalı motorlu araçlara getirilen sınırlamalar ile yurt içinde hızla artması öngörülmektedir (Saygın et al., 2019). Türkiye'de 2021 yılı itibari ile kayıtlı 13 milyon binek ve 5 milyon dizel binek araç

bulunmaktadır (TUIK, 2020). Türkiye'de yerli marka ve diğer firmalar ile EA 10 yıl içinde 2 milyon araç konvansiyonel araçlar ile yer değiştirmesi öngörülmektedir. Fakat EA'ların sayısındaki bu artış ülkenin toplam elektrik tüketimini olumsuz yönde etkileyecektir.

Dünyada oldu gibi Türkiye'de elektrikli araçlara önemli bir yönelim olması ve TOGG yerli elektrikli aracın kısa vade de üretime geçecek olması, acil şarj istasyonu alt yapı çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır. Yerli elektrikli araç çalışmasının desteklenmesi için şarj istasyonlarının sayısının fazla olmasına ihtiyaç vardır. Fakat EA'ların sayısının artması ile zamanla önemli oranda elektrik sarfiyatına ek yükü getirecektir. Bu ek yükün yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi dışa bağımlılığın azalması anlamına geleceğinden güneş enerji sistemleri (GES) ve rüzgâr enerji sistemleri (RES) kullanarak önemli oranda temiz enerji elde edilebilir. Bu çalışmada yerli elektrikli aracın teknik özellikleri kullanılarak 1 adet, 100 bin adet ve 1 milyon adet elektrikli aracın ülkemiz elektrik sarfiyatına ilave yükü ve bu ilave enerji ihtiyacı GES ve RES sistemleri ile temin edilebilirliği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Elektrikli Araçlarda Enerji Tüketimi

Elektrikli araçlarda enerji tüketimi hesabına araca etki eden ivme direnci, hava direnci, eğim direnci ve yuvarlanma direnci kuvvetleri de hesaba katılmalıdır. Enerji tüketimi araç karakteristiği, yol ve hava koşulları ayrıca sürüş karakteristiğine göre değişir (De Cauwer et al., 2015; Wang et al.2015). EA'ların bir saniyedeki enerji tüketimi (E_s) Ws cinsinden denklem 1 ile hesaplanır (Hyodo et al., 2013).

$$E_s = M \cdot v \cdot \alpha + \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A \cdot v^3 + M \cdot g \cdot \Delta_h + \tau \cdot M \cdot g \cdot v \quad 1$$

M: kütle (kg), v : hız (m/s), α : ivme (m/s^2), ρ : hava yoğunluğu, $1.24 (kg/m^3)$, C_D : hava direnç katsayısı, A : aracın ön cephe alanı (m^2), g : yer çekim ivmesi (m/s^2), Δ_h : 1 saniyedeki yüksekli farkı (m), τ : yuvarlanma direnç katsayısını temsil etmektedir.

Elektrikli araçların enerji tüketimini menzil hesaba katılmadan düşünüldüğünde doğrudan aracın motor gücüne bağlı olarak denklem 2 ile hesap edilebilir.

$$E_T = G_M \times \eta_M \times X \times t \quad 2$$

E_T : araç enerji tüketimi (kWh), G_M : motor gücü (kW), η_M : motor verimi (%), X : yük oranı, t : süre (h)

Ayrıca elektrikli araçların enerji tüketimini doğrudan araç batarya kapasitesine ve şarj olma sayısına bağlı olarak denklem 3 ile hesap edilebilir.

$$E_V = B_G \times \eta_B \times C_n \quad 3$$

E_V : araç enerji tüketimi (kWh), B_G : Batarya gücü (kWh), η_B : batarya kapasitesi (%), C_n : şarj olma sayısı

Türkiye’de kısa vadede özellikle yerli elektrikli araçlar ile artacak olan elektrik tüketimini karşılayacak elektrik enerjisi üretilmelidir. Türkiye’nin kurulu elektrik üretim kapasitesi 2019 yılı sonunda 91.342 MWh 2020 yılın sonunda ise 96,271 MWh mertebesinde (Hakyemez, 2021). Ayrıca elektrik üretim potansiyeli ve üretim kaynak çeşitliliği oldukça fazladır. Yenilebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve dalga enerjisi başlıcalarıdır. Türkiye 2020 yılı verilerine göre kurulu gücün %8.5 akarsu hidroelektrik, %9.01 rüzgâr, %22.4 yerli ve ithal kömür, %27 doğal gaz, %1.6 jeotermal, %23.8 baraj hidroelektrik, %1.5 biyokütle atk ısı ve % 7.01 güneş enerjisi kullanılarak elde edilmiştir (TEİAŞ, 2021).

2.2. Güneş Enerjisi Potansiyeli

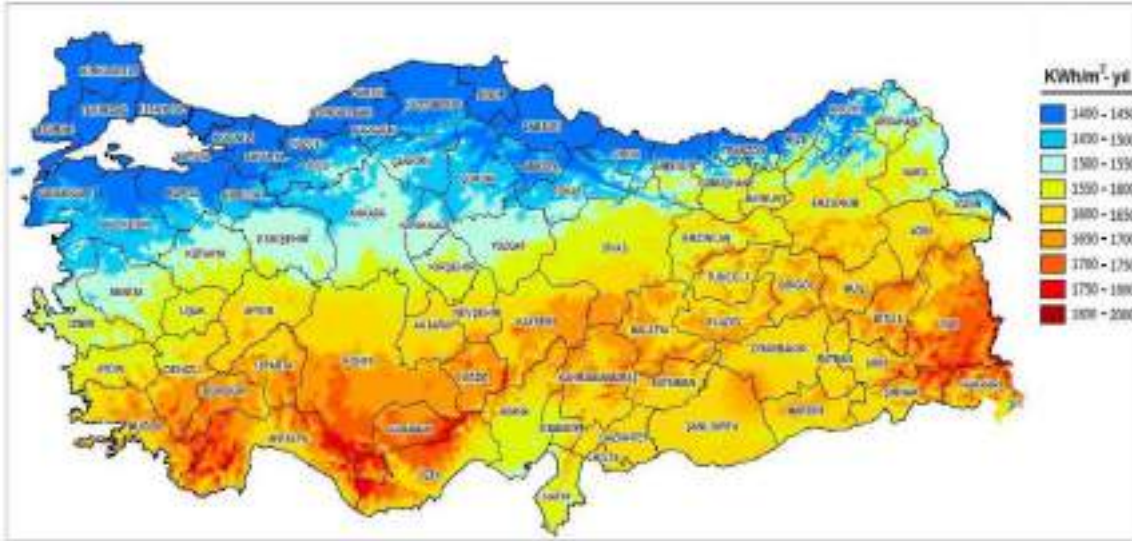
Türkiye’nin güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli oldukça iyidir. Türkiye’nin coğrafi konumu bu potansiyelde

önemli etkindir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjide güneş enerjisinin etkisi giderek artmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi ile sıfır emisyon üretimi yapılır. Çevreye ve insan sağlığına doğrudan zararı yoktur. Ayrıca geniş arazi yelpazesine sahip olarak üretilebilir (Sarıkaya, 2012). Fakat güneş enerjisi iklim şartlarından etkilenir ve enerji üretimi gün içinde sürekli olmadığı gibi aynı zamanda anlık olarak istenilen yoğunlukta da olmayabilir (Sarıkaya, 2012). Ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üretimi çok geç başlanmıştır. Dolayısıyla Türkiye toplam elektrik kurulu gücünün güneş enerjisi santrallerinin toplam kurulu güçteki payları %7.1 oran ile 6.805 MW seviyesindedir (Bayrak, 2020). Güneş enerjisi elektrik üretimindeki bu iyileşme 2008 da ki 2023 hedeflerinin oldukça üzerindedir (Sarıkaya, 2012). Bu oran 2021 yılında %100 artış ile 13.610 MW seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir. Ancak bu oran toplam kurulu gücün sadece %13,1’ni karşılayacaktır. (Bayrak, 2020).

Güneş enerjisi sıcak su sağlanması, seraların ısıtılması, binaları ısıtılması, tarım ürünlerin kurutulması ve elektrik enerjisi üretimi gibi oldukça çeşitli kullanım alanı vardır (Doğanay, Özdemir, & Şahin, 2020; Oral, 2020). Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (GEPA) göre, Türkiye’nin güneşlenme süresi günlük olarak ortalama 7,5 saat olarak ve yıllık toplam güneşlenme süresi ortalama 2741,07 saat/yıl olarak belirlenmiştir (ETKB, 2020; Hacıbebekoğlu et al., 2013). Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel atlası haritası şekil 5’de gösterilmiştir (Enerji Atlası, 2021). Işınım alma sürelerine bağlı olarak güneş enerjisi üretim potansiyeli en düşük bölgeler Karadeniz, Marmara ve Trakya bölgeleri ve güneş enerjisi üretim potansiyeli en büyük bölgeler ise Güney Doğu Anadolu, Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Akdeniz bölgeleridir. İl bazında ise güneş enerji yoğunluğu bakımından Van, Konya, Karaman, Mersin ve Antalya illerinde görülür. Türkiye coğrafi bölgelerinin ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri tablo 2’de gösterilmiştir (Özgür, 2020).

Tablo 2 Bölgelerin ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri

Bölge	Güneşlenme Süresi, (Saat/yıl)	Toplam Güneş Enerjisi, (kWh/m ² -yıl)
Marmara	2409	1168
Karadeniz	1971	1120
Ege	2738	1304
İç Anadolu	2628	1314
Doğu Anadolu	2664	1365
Güney Doğu Anadolu	2993	1460
Akdeniz	2956	1390



Şekil 5 Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası haritası

Günümüzde güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde genelde Fotovoltaik (PV) ve Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP) olmak üzere iki farklı teknoloji kullanılmaktadır (Özdoğan & Bitlisli, 2019). Şekil 6'da gösterilen Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemleri yani güneş hücreleri, yarı iletken malzemelerden üretilir ve güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Odaklanmış Güneş Enerjisi ve ısı Güneş Teknolojileri güneş enerjisinden ısı elde edilen bu sistemlerde, ısı doğrudan kullanılabilir ayrıca elektrik üretiminde de kullanılabilir. PV sistemler her alana kurulabilmesi ve enerji nakil hatlarının olmadığı ve enerji üretimi için kurulum haricinde bir çalışmaya gerek olmamasından dolayı oldukça yaygın şekilde tercih edilmektedir. Ayrıca şekil 7'de görüldüğü gibi dünya genelinde otopark alanları üzerleri güneş panelleri ile kaplanarak şarj istasyonu uygulamaları mevcuttur.



Şekil 6 Fotovoltaik panel görüntüsü

PV sisteminde güneş enerjisinin yetersiz olduğu anlarda veya gece enerji üretimi olmadığından dolayı eğer şebeke yoksa enerji depolamak için bir akümülatör ve DC 220 volt kullanımları için bir invertör bulunur. Güneş panelleri tablo 3'de gösterildiği gibi 12-48 volt ve 153-1088 Watt güç aralığında paneller mevcuttur (GEP, 2021; Köroğlu et al., 2010).



Şekil 7 Otopark güneş panelleri ile elektrik şarj istasyonları

Güneş panelleri elde edilecek gerilimi artırmak için seri, akımı artırmak için paralel bağlanarak modül oluşturulabilir (Atakul et al., 2015).

Tablo 3 Güneş paneli güç ve voltaj değerleri

Nominal Gerilim	Panel Gücü, Watt	Maksimum Akım, Amper
12 v	153	9
	374	22
	544	32
	748	44
	1020	60
24 v	216	9
	748	22
48 v	340	5
	1088	16

2.3. Güneş enerjisinden elektrik üretim hesabı

Son yıllarda artan elektrikli araç sayısı ile elektrik tüketimi artmış ve ani yük dalgalanmalarını güneş panelleri ile elektrik üretimi şebeke yükü azaltılabilir (Çiçek & Erdiç, 2019). Dolayısıyla güneş enerjisinde elektrik üretmek için güneş panelleri elektrik üretimi araştırıldı. Güneş panellerinin konumu ve boyutuna bağlı olarak üretim potansiyeli değişmektedir. Ayrıca hareketli güneş paneli sistemleri de kullanılmaktadır. (Alkan et al. 2014). Yüksek verimli güneş panelleri kullanılabilir. Bu hesaplamada panellerin konumu ideal konum ve güneş alma süreleri Türkiye ortalaması olarak alınmıştır.

Panellerden üretilen elektrik kullanım açısından kayıplara uğrar. Güneş panelin verimi, akü verimi ve invertör verimi dikkate katılarak güneş paneli sistemi verim hesabı denklem 4' e göre hesaplanır (Alkan et al., 2014).

$$\eta_{\text{sis}} = \eta_{\text{pv}} \cdot \eta_{\text{akü}} \cdot \eta_{\text{inv}} \quad 4$$

Burada η_{sis} sistem verimini, η_{pv} panel verimi, $\eta_{\text{akü}}$ akü verimini, η_{inv} invertör verimini temsil etmektedir. Güneş panelinden çekilecek enerji denklem 5 ile hesaplanır.

$$YE = \text{ÜGE} \cdot \eta_{\text{sis}} \quad 5$$

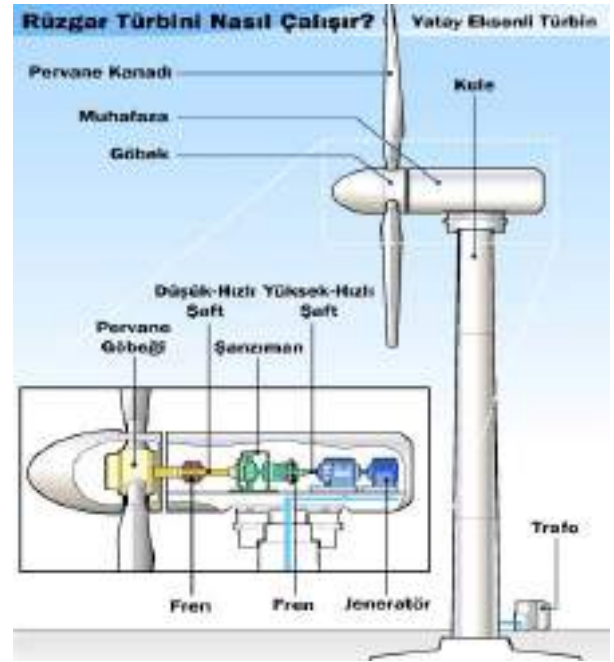
Burada YE yükün enerjisini ve ÜGE üretilmesi istenen enerjiyi temsil etmektedir. Bu enerjiyi üretebilmek için kaç adet panele ihtiyaç olduğunu hesaplamak için denklem 6 kullanılır.

$$Ps = E_i / PG \times GS \quad 6$$

Burada Ps, panel sayısını, E_i ihtiyaç olan enerjiyi, PG kullanılan panelin gücünü, GS güneşlenme süresini temsil etmektedir.

2.4. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretim hesabı

Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlilerinden biri rüzgâr enerjisidir. Türkiye'nin rüzgâr enerjisinden elektrik üretim potansiyeli oldukça fazladır. Türkiye'nin yüksek dağları bu potansiyelde önemli etkidir. Ayrıca rüzgârdan yararlanarak enerji üretimi ile sıfır emisyon salımı meydana gelir. Atmosfere zararlı karbondioksit ve nitrojen gazları salınımı yoktur. Rüzgâr enerjisi birçok iklim şartlarında ve rüzgâr hızında aktif olarak üretilir. Rüzgâr enerjisinde elektrik üretmek için genelde yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Türbin kanatlarının kinetik enerjisinin hareket enerjisine ve mekanik enerji dişli kutusu vasıtasıyla jeneratöre ileterek elektrik üretir. Rüzgâr türbinin genel yapısı şekil 8'de gösterilmiştir (Gezegen, 2021; Luo, 2010).



Şekil 8 Yatay eksenli rüzgâr türbinin genel yapısı

Rüzgâr türbinleri sera gazı olmadan elektrik üretimi yaptığı için dünya genelinde hızla yayılmaya devam ediyor. Fakat rüzgâr türbinleri gürültü oluşturma, rüzgâr yavaş ve çok hızlı eserse durması ve yatırım maliyetlerinin yüksek olması önemli sorunlardır. Rüzgâr türbinlerinin elektrik üretim verimi bazı kayıplardan dolayı %59'dan daha düşük seviyelerdedir.

Rüzgâr türbininden üretilen elektriğin hesabında rüzgâr hızı ve pervane çapı oldukça önemlidir. Türkiye'nin en iyi rüzgâr rezervi kıyı bölgeleri, yüksek tepeler ve açık alanlarıdır (Elibüyük, Yakut, & Üçgül B A, 2016). Türkiye RES kurulu gücü 2019 yılında 7,615 MW mertebesinde iken 2020 yılı sonunda rüzgâr enerjisi kurulu gücü 9,305 MW çıkarak elektrik tüketiminin yaklaşık %10 tek başına karşılamıştır. (Türeb, 2021). Türkiye 50 metre yükseklikteki rüzgâr potansiyeli atlası şekil 9'de verilmiştir (MGM, 2021)



Şekil 9 Türkiye 50 metre yükseklikteki rüzgâr potansiyeli

Türkiye'nin karasal rüzgâr enerji potansiyeli bürüt 400 milyar kWh/yıl, teknik olarak 120 milyar kWh/yıl olarak öngörülmektedir (Çelikdemir & Özdemir, 2020). Rüzgâr türbini tam kapasiteye 15 m/s hızla esen rüzgârda ulaşır. 20 m/s hızda pervaneler otomatik olarak güvenlik nedeniyle durur. Rüzgâr enerjisinin gücünü hesaplamak için denklem 6 kullanılır (Ekolojist, 2018).

$$P(\text{Watt}) = 1/2 \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) x V^3 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) x C_p x A (\text{m}^2) \quad 8$$

$$A = \pi r^2 \quad 9$$

Burada P rüzgâr türbininin üreteceği gücü, ρ hava yoğunluğunu, V ortalama rüzgâr hızını, C_p rüzgâr türbinin yüzdellik katsayısını, A rüzgâr türbininin kanatlarının süpürdüğü alanı ifade eder. Türbin kanatlarının süpürdüğü alan rotor çapı ile hesaplanabilir. Hava yoğunluğu atmosferik şartlarda $1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ tür. Rüzgâr türbinin Betz limitinde %59.26 verimlilikte olduğu için C_p değeri 0.5926'dır.

Türbin yüksekliğindeki rüzgâr hızı denklem 10'da gösterilen Hellmann denklemi ile belli hesaplanabilir (Çelikdemir & Özdemir, 2020).

$$\frac{V}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^a \quad 10$$

Burada V H yüksekliğinde ki rüzgâr hızı, v_0 referans yükseklikteki rüzgâr hızı, H rüzgâr hızının hesaplanmak istediği yükseklik, H_0 referans yükseklik, a sürtünme katsayısını temsil etmektedir. Referans rüzgâr hızı ve referans yükseklik daha önceden bilinen belli yükseklikteki rüzgâr hızıdır. Sürtünme katsayısı bölgeler arası değişmektedir. Bazı bölgelerin rüzgâr sürtünme katsayıları tablo 3'te verilmiştir (Masters, 2013).

Tablo 3 Bölge karakteristiğine göre rüzgâr sürtünme katsayısı

Arazi karakteristiği	Sürtünme Katsayısı
Sert zemin göl ve deniz yüzeyi	0.10
Çimli açık alan	0.14
Seyrek ağaçlık ve aralıklı bina alanı	0.22-0.28
Kırsal orman alanı	0.25
Sık ağaçlık bölge	0.28-0.30
Yüksek binalar ve şehir içi	0.40

Türkiye'de bölgelerin rüzgâr enerjisi ve hızı değişkenlik göstermektedir. Genel olarak ülkemizdeki bölgelere göre ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr yoğunluğu tablo 4'de gösterilmiştir (Kızıltuğ, 2002). Rüzgâr enerjisinden potansiyel elektrik üretimini hesaplamak için 50 m yükseklikte rüzgâr hızı ele alınmalıdır. Bunun nedeni Ülkemizdeki rüzgâr türbinlerinin yüksekliği 50m dolaylarındadır (Yıldız, 2021).

Tablo 4 Bölgelere göre 10 m yükseklikte rüzgâr hızı ve enerjisi yoğunluğu

Bölge İsmi	Ortalama Rüzgâr Yoğunluğu (W/m ²)	Enerjisi	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
Akdeniz	21.36		2.45
İç Anadolu	20.14		2.46
Ege	23.47		2.65
Karadeniz	21.31		2.38
Doğu Anadolu	13.19		2.12
Güney Doğu Anadolu	29.33		2.69
Marmara	51.91		3.29

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Yerli Elektrikli Aracın Elektrik Sarfiyatına Etkisi

Yerli TOGG elektrikli araçta 200 HP ve 400 HP güçte iki motor seçeneği ve 45 kWh ve 90 kWh batarya seçeneği sunulmaktadır. (TOGG, 2020). Ayrıca yerli araç otonom destek alt yapısına, internet ağına, kişisel navigasyon ve rehber ve meteoroloji gibi kurumlar ile anlık olarak veri alışverişinde bulunacağı için elektrik motorunun enerji tüketimine ilave enerjiye ihtiyaç vardır. İlave olarak elektrikli aracın klima, radyon iletişim ekranı, elektrikli cam, elektrikli aynalar ve farlar gibi elektrikli aksesuarların ek enerji sarfiyatı vardır. Elektrikli araçta motorun enerji sarfiyatına ilave olarak toplam 3 kWh enerji harcayacağı öngörülmektedir.

Elektrikli araç enerji tüketimi menzil hesaba katılmadan motor gücüne bağlı olarak 100 kW motor gücü, %80 motor verimi, %100 motor yükü ve günlük ortalama 2 saat araç kullanım süresi kabulleri dikkate alınıp denklem 2'ye göre hesaplandığında

$$E_T = 100kWh \times 0.80 \times 0.85 \times 2h ; E_T = 136 kWh$$

enerji tüketimi meydana gelmektedir. Bir kişinin günlük şehir içi araç kullanımı İstanbul'da ortalama 3 saattir. TOGG yerli elektrikli aracın sahip olduğu 45 kWh ve 90 kWh bataryaların kapasitelerinin %90 kullanım oranı baz alınmıştır. Yerli elektrikli araçların tam kapasite batarya ile 300 km ve 500+ km menzil seçeneklerinin günlük şehir içi kullanımı için oldukça yeterli olmasından dolayı günlük araç kullanım süresi yerine batarya şarj çevrim sayısı baz alınmıştır. Ayrıca elektrikli aracın klima, elektrikli aynalar, diğer araçlar ile iletişim ve anlık veri paylaşımı gibi aktif güç tüketen aksesuarların 3 kWh ek enerji tüketiminin yanı sıra batarya kullanım ömrünü en uzun seviyede olabilmesi için batarya tam kapasitenin %80 'nin kullanılmasından dolayı 45 kWh kapasiteli bataryalı araç günde 1 sefer tam kapasite, 90 kWh kapasiteli bataryalı araç 2 günde bir 1 sefer tam kapasite şarj edilme değerleri baz alındığında 1 adet elektrikli aracın günlük enerji tüketimi:

$$E_{V1} = B_G \cdot \eta_B \cdot C_n = 45 kWh \cdot 0.8 \times 1 , E_{V1} = 36 kWh$$

$$E_{V1} = B_G \cdot \eta_B \cdot C_n = 90 kWh \cdot 0.8 \times 0.5 \quad E_{V2} = 36 kWh$$

Her ne kadar Türkiye'de iş günümüz tarihi itibari ile elektrikli araç sayısı 1012 adet olsa da birkaç yıl içinde bu sayı on binleri bulacağı öngörülmektedir. Yerli TOGG elektrikli araç 2022 yılında seri üretim bandından ineceği ve 10 yıl içinde 1 milyon adet üretim yapılacağı planlanmaktadır (TOGG, 2020). Dolayısıyla iç pazar ve dış pazarın etkisiyle ülkemizde yakın gelecek projeksiyonunda sayıları milyonları bulacak elektrikli araçların ülkemizin günlük elektrik tüketimine ilave elektrik sarfiyatı hesaplanmalıdır. Böylelikle günlük şarj ve 100.000 adet araç için enerji tüketimi:

$$E_{V1} = E_{V2} = 36 \times 100,000 / 1000$$

$$E_{V1} = E_{V2} = 3600 MWh$$

olacaktır. Önümüzdeki 20 yıl içinde Türkiye'de kayıtlı elektrikli araç sayısı 1 milyon olacağı öngörüsü hesaba katıldığında ilave EA elektrik tüketimi:

$$E_{V1} = E_{V2} = 0.036 MWh \times 1,000,000 / 1000$$

$$E_{V1} = E_{V2} = 36 GWh$$

EA aracı günde 1 sefer şarj edilmesi durumunda elektrik tüketim miktarı tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 Elektrikli aracın günlük 1 kez şarj yapılması durumunda elektrik sarfiyatı

1 araç	100 bin araç	1 milyon araç
36 kWh	3600 MWh	36 GWh

Türkiye'nin günlük elektrik tüketimi ortalama 886,616 MWh'tir (Atlası, 2019; Hakyemez, 2021). Böylelikle Türkiye'de sadece 100.000 adet elektrikli araç olması durumunda günlük elektrik tüketimine ortalama %0.406 ve oranında yük ilave binecektir. EA sayısı 1 milyon sayısına ulaştığında enerji sarfiyatı yaklaşık olarak ortalama %4.06 artacaktır.

3.2. Güneş enerjisinin EA kaynaklı elektrik sarfiyatını karşılama potansiyeli

Türkiye yollarında görülen ve sayısı kısa vadede milyonları bulacak olan elektrikli araçların tablo 6'de gösterilen ek elektrik tüketimini sağlamak için oldukça önemli oranda ve hızlı olarak elektrik üretim kurulu güç artırılmalıdır. Elektrik üretim

kapasitesini hızlı şekilde artırmak için hem kurulum maliyeti hem de yılın her döneminde elektrik üretme kapasitesine sahip güneş panelleri tarlaları kullanılmalıdır.

Güneş paneli kullanarak elektrik üretim yapıldığında öncelikle panel, batarya ve invertörden oluşan sistemin toplam verimi hesabını denklem 4 ile yapılır. Hesaplarda güneş paneli gücünü 1000 Watt panel verimliliği %80, akü verimliliği %80 ve invertör verimliliği %90 olarak kabul edilmiştir.

$$\eta_{\text{sis}} = \eta_{\text{pv}} \cdot \eta_{\text{akü}} \cdot \eta_{\text{inv}} = 0.80 \times 0.80 \times 0.90, \quad \eta_{\text{sis}} = 0.58$$

Yerli elektrikli araç sayısı 1 milyon olması durumunda yaklaşık olarak ortalama her iki bataryalı araç için $E_{T1} = E_{T2} = 36$ GWh günlük enerjiye ihtiyacı vardır. Bu enerjiyi GES kullanarak karşılamak için kaç adet güneş paneline ihtiyaç olduğu denklem 6 ile hesaplanır.

$$P_{S1} = 36 \text{ GWh} \times 1000000000 / 1000 \text{ W} \times 7 \text{ h}$$

$$P_{S1} = P_{S2} = 5,042,016 \text{ adet}$$

Aktif olarak 1 milyon 45 kWh ve 90 kWh elektrikli aracın günde 1 kez ve 2 günde 1 kez şarj sayılıları ile ihtiyaç duyduğu 36 GWh elektrik enerjisi ihtiyacını sağlamak için güneş enerjisinden faydalandığında 1000 Watt gücünde yaklaşık olarak $P_s = 5$ milyon adet panele ihtiyaç vardır. Kullanılan güneş paneli tipine göre enerji üretim kapasitesi değişmektedir. Türkiye’de Kadmiyum tellerium tip panel ile 100 m^2 alanda yaklaşık 12,000 kWh/yıl üretim yapılabilirken Monokristalin silikon tip panel ile 100 m^2 26,000 kWh/yıl üretim yapılabilir (GEPA, 2021). Yüz ölçümü göre günlük ilave elektrik üretimi Monokristalin silikon tip güneş panelleri ile sağlandığında Türkiye yüzölçümünün %6.13 kadarı güneş paneli ile kaplanmalıdır. Güneşlenme süresi Türkiye’nin ortalama güneşlenme süresinden daha uzun olan Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde kurulacak GES’ler ile bu maliyetler %14.64 ve %12.5 oranında azaltılabilir.

3.3. Rüzgâr enerjisinin EA kaynaklı elektrik sarfiyatını karşılama potansiyeli

Elektrikli aracın günlük ek elektrik sarfiyatının karşılanmasında güneş enerjisinin yanı sıra rüzgâr enerjisinde oldukça aktif olarak kullanılabilir. Türkiye’nin Rüzgâr enerji potansiyelinin 400 GWh/yıl seviyesindedir. Bu potansiyel mevcut

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, elektrikli araçların sayıları önümüzdeki 10 yıl içinde 100 binleri bulması beklendiğinden dolayı yerli elektrikli araç özellikleri kullanılarak ülkemizin elektrik sarfiyatına ek elektrik yükü ve bu ek elektrik sarfiyatının temiz enerji kapsamında güneş enerji ve rüzgâr enerjisi ile sağlanabilirliği araştırılmıştır.

- Yerli elektrikli araçlar sıfır emisyon ürettiği için taşıt kaynaklı zararlı ve sera etkili emisyonları önemli oranlarda azaltır.
- Yerli TOGG veya farklı marka elektrikli araçların 45 kWh gücünde ki bataryaların günde 1 kez, 90 kWh gücündeki bataryaların 2 günde 1 kez şarj edilmesi durumunda ve toplam araç sayısı 1 milyon âdete ulaşması halinde Türkiye’nin günlük elektrik sarfiyatı 36 GWh ilave ile %4.06 artacaktır.

RES modüllerinden daha verimli türbin sistemleri ile artırılabilir. Tepe ve bayırlarda 50 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr enerjisi yoğunluğu kullanarak yaklaşım yöntemi ile rüzgâr enerjisinden elektrik gücü etmek için denklem 9 kullanılmıştır. Ortalama rüzgâr hızı 9.14 m/s, rüzgâr yoğunluğu enerjisi 1200 w/m^2 , hava yoğunluğu 1.23 kg/m^3 olarak alınmıştır. Türbin rotor yarı çapı (r) 30m ve türbin kule uzunluğu 100 m olarak kabul edilmiştir. Türbin yüksekliği olan 100 m yükseklikte rüzgâr hızı denklem 10’ göre hesaplanmıştır.

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^a, \quad \frac{v}{9.54} = \left(\frac{70}{50}\right)^{0.14}, \quad v = 12.79 \text{ m/s}$$

$$A = \pi r^2 = \pi 30^2, \quad A = 2,827.43 \text{ m}^2$$

$$P(\text{Watt}) = \frac{1}{2} \times \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times v^3 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \times C_p \times A(\text{m}^2),$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1.23 \times 12.79^3 \times 0.5926 \times 2,827.43$$

$$P = 2,158,993.42 \text{ W} = 2158.993 \text{ kW}, \quad P = 2.159 \text{ MW}$$

Rüzgâr türbini bir yıl boyunca sürekli çalışması durumunda 1MW gücündeki türbin tam verim ile 8,760 MWh elektrik üretimi yapabilir (Karık, Sözen, & İskender, 2015). Fakat jeneratör verimi ve sistem kapasite faktörü ile bu verim yaklaşık %50 azalmaktadır. Rüzgâr türbini enerji potansiyeli yıllık 18,912.84 MWh olarak hesaplanır. Fakat toplam RES verimi %50 olarak alındığında üretilen yıllık güç (P_U) hesabı 9,456.42 MWh olarak hesaplanır.

$$P_U = 18,912.84 \times 0.5 = 9,456.42 \text{ MWh}$$

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretim potansiyelini artırmak ve elektrikli aracın günlük olarak ek elektrik sarfiyatını karşılamak için bu güçte yaklaşık olarak 1390 adet rüzgâr türbine ihtiyaç vardır.

$$T_s = 36000 \times 365 / 9456.42 \cong 1390$$

Rüzgâr hızı ortalaması aylara ve iklime göre değişmesinden dolayı gerekli türbin sayısı daha da artacaktır. Rüzgâr türbin sayısı ve RES verimi artırılırsa karşılama potansiyeli artırılabilir.

- Türkiye’nin elektrik kurulu gücü oldukça yetersiz olduğu için elektrikli araçların ilave elektrik sarfiyatı dışarıya bağımlılığı artırmayacak rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabilir. Potansiyel güneş enerjisi elektrik üretimi ile ilave elektrik sarfiyatının tamamını karşılamak için yaklaşık 1000 kW gücünde 5 milyon adet güneş paneline veya potansiyel rüzgâr enerjisi ile karşılamak için 2.159 MW gücünde yaklaşık 1390 adet rüzgâr türbinine ihtiyaç vardır.
- GES ve RES ayrı ayrı kurulum maliyetleri ve ani günlük iklim durumunun değişebilmesi nedeniyle güneş ve rüzgâr hibrit sistemleri şeklinde kurulmalıdır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının yaygınlaşması ve şarj istasyonu problemine hızlı çözüm olabilmesi için mevcut konvansiyonel akaryakıt istasyonlarına çatı tip güneş ve rüzgâr sistemleri kurulması teşvik edilmelidir. Türkiye’de Mevcut yakıt istasyon sayısı yaklaşık 15,000

civarında olmasından dolayı her istasyonda rüzgâr ve güneş sistemlerinin kurulması durumunda uzun vadede elektrik şarj istasyon sorunu çözülebilir. Ayrıca şekil 7'deki gibi açık otoparkların üzerlerine çatı tipi güneş panelleri ile elektrik şarj istasyonu kurulması teşvik ile yönlendirilebilir.

- Elektrikli araç şarj istasyonu sorunu elektrige duyulan ihtiyacın azaltılması ile giderilebileceğinden dolayı bu soruna önemli çözümlerden biride PEM tarzı yakıt hücreleri ile elektrikli araçların desteklenmesi ve mevcut yakıt istasyonlarında hidrojen dolum istasyonları ile azaltılabilir.

Terimler

BEV	Bataryalı elektrikli araç
CNG	Sıkıştırılmış doğal gaz
CSP	Odaklanmış Güneş Enerjisi
DC	Doğru akım
EA	Elektrikli araç
EEA	Avrupa ekonomik Alanı
EGR	Egzoz gazı devirdaimi
ETKB	Enerji tabi kaynaklar bakanlığı
FCEV	Yakıt hücreli elektrikli araç
GEP	Güneş enerjisi potansiyeli
GEPA	Güneş enerjisi potansiyel atlası
GES	Güneş enerji sistemleri
GHG	Sera gazları
HEV	Hibrit elektrikli araç
LNG	Doğal gaz
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
PEM	Proton elektron membran
PM	Partikül madde
PV	Fotovoltaik panel
RES	Rüzgâr enerji sistemleri
TEİAŞ	Türkiye elektrik iletim A.Ş.
TOGG	Türkiye otomotiv girişim grubu
TÜİK	Türkiye istatistik kurumu
TÜREB	Türkiye rüzgâr enerjisi birliği

Birimler

GWh	Gigawatt saat
kg	Kilogram
kWh	Kilowatt saat
MWh	Megawatt saat
m	Metre
s	Saniye
Watt	Watt

Kaynakça

- Adler, K. (2021). IHS Markit forecasts global EV sales to rise by 70% in 2021 . Retrieved March 10, 2021, from <https://ihsmarkit.com/research-analysis/ihs-markit-forecasts-global-ev-sales-to-rise-by-70-percent.html>
- Agency EA. (2019). *2019 Experiential Marketing Trend Report*. Retrieved from <https://agencyea.com/insights/2019-experiential-marketing-trend-report/>
- Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S., & Avcı, E. (2014). Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu. In *Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 27 – 29 Kasım (pp.

- 78–82). Bursa. Retrieved from https://www.emo.org.tr/ekler/12f562f9f252bd3_ek.pdf
- Allen, M., Babiker, M., Chen, Y., Taylor, M., Tschakert Australia, P., Waisman, H., ... Waterfield, T. (2018). *Summary for Policymakers — Global Warming of 1.5 °C*. *Aromar Revi*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf
- Atakul, Ş., Kalender, M. A., Gezici, M., & Konuralp Eliçin, A. (2015). Güneş Tarlası Kurulumu. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 2015(1), 55–60. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/445009>
- Atlası, E. (2019). Türkiye Elektrik Tüketimi. Retrieved March 11, 2021, from <https://www.enerjiatlası.com/elektrik-tuketimi/>
- Bae, C., & Kim, J. (2017). Alternative fuels for internal combustion engines. *Proceedings of the Combustion Institute*, 36(3), 3389–3413. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.09.009>
- Bayrak, Y. (2020). *Türkiye'nin Enerji Görünümü , Yakın Dönem (2020-2025) Elektrik Üretim-Tüketim Projeksiyonuna Yönelik Bir Çözümleme*. Retrieved from https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-4.2_Yakın_Dönem_Projeksiyonu_Yusuf_Bayrak.pdf
- Behrentz, E., Ling, R., Rieger, P., & Winer, A. M. (2004). Measurements of nitrous oxide emissions from light-duty motor vehicles: A pilot study. *Atmospheric Environment*, 38(26), 4291–4303. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.04.027>
- BMW. (2021). Elektrikli otomobil türleri. Retrieved March 10, 2021, from <https://www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html>
- Brijesh, P., & Sreedhara, S. (2013). Exhaust emissions and its control methods in compression ignition engines: A review. *International Journal of Automotive Technology*, 14(2), 195–206. <https://doi.org/10.1007/s12239-013-0022-2>
- Çelikdemir, S., & Özdemir, M. T. (2020). Adilcevaz Bölgesinde Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İncelenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi* , 9(1), 204–214.
- Cellek, M. S. (2020). Kaya Gazlarının Yanma Karakteristikleri ve İis oluşumu. *European Journal of Science and Technology*, (22), 49–59. <https://doi.org/10.31590/ejosat.839848>
- Çiçek, A., & Erdinç, O. (2019). PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi. *European Journal of Science and Technology*, (15), 466–474. <https://doi.org/10.31590/ejosat.527350>
- Civles, M., & İrem, Z. (2018). *Elektrikli araçlar*. Retrieved from <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2018/09/YET3-1.pdf>
- Çobanoğlu, A., Demirkıran, G., & Güneş, M. (2021). İzmir İlinde Elektrikli Kara Araçları için Güneş Enerjisi Destekli Bir Şarj İstasyonunun Tasarlanması. *European Journal of Science and Technology*, (21), 635–648. <https://doi.org/10.31590/ejosat.777874>
- De Cauwer, C., Van Mierlo, J., & Coosemans, T. (2015). Energy consumption prediction for electric vehicles based on real-world data. *Energies*, 8(8), 8573–8593. <https://doi.org/10.3390/en8088573>
- Deloitte. (2019). *New market. New entrants. New challenges. Battery Electric Vehicles*.
- Doğanay, H., Özdemir, Ü., & Şahin, F. İ. (2020). *Genel Beşeri Ve Ekonomik Coğrafya* (11th ed.). Pegem Akademi. <https://doi.org/10.14527/9786053641193>

- EEA. (2019). *Trends and projections in Europe 2019 - Tracking progress towards Europe's climate and energy targets*. <https://doi.org/10.2800/51114>
- Ekolojist, net. (2018). Rüzgar Enerjisi Güç Hesabı . Retrieved March 11, 2021, from <https://ekolojist.net/ruzgar-enerjisi-guc-hesabi>
- Elbüyük, U., Yakut, A. K., & Üçgül B A, İ. (2016). Süleyman Demirel Üniversitesi Rüzgâr Enerjisi Santrali Projesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum E-Dergi*, 3(2), 22–32.
- Enerji Atlası. (2021). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası. Retrieved March 11, 2021, from <https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye>
- Eriksson, E. L. V., & Gray, E. M. A. (2017). Optimization and integration of hybrid renewable energy hydrogen fuel cell energy systems – A critical review. *Applied Energy*, 202, 348–364. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.132>
- ETKB. (2020). Güneş. Retrieved March 10, 2021, from <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- GEP. (2021). Güneş Paneli Fiyatları. Retrieved March 11, 2021, from <http://gunesenerjisipanelleri.net/gunes-paneli-fiyatları/>
- GEPA. (n.d.). Türkiye PV tipi alan-Üretilebilecek enerji (kWh/yıl). Retrieved March 15, 2021, from <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- Gezegen, S. (2021). Rüzgar Türbini Enerji Hesabı – Enerjim Güneşten. Retrieved March 11, 2021, from <https://www.enerjimgunesten.com/ruzgar-turbini-enerji-hesabi.html>
- Ghosh, A. (2020). Possibilities and Challenges for the Inclusion of the Electric Vehicle (EV) to Reduce the Carbon Footprint in the Transport Sector: A Review. *Energies*, 13(10), 2602. <https://doi.org/10.3390/en13102602>
- Gürbüz, H. (2020). Analysis of the effects of multiple injection strategies with hydrogen on engine performance and emissions in diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(51), 27969–27978. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.012>
- Gürbüz, H., & Sandalcı, T. (2019). Investigation of Effects of Fumigation on Performance and Emission in Dual Fuel Engines Injection-Controlled With Electronic Card. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*, 5(3), 24–31. <https://doi.org/10.31695/ijerat.2019.3400>
- Hacıbebekoğlu, A., Maden, Ö. ;, & Demirliçakmak, E. (2013). *Güneş Panelleri İmalatı Yatırım Fizibilitesi*. Retrieved from https://www.oran.org.tr/materyaller/Editor/document/PlanlamaBirimi/Dokmerkezi/Fizibilite_Raporları/Güneş_Panelleri_İmalatı_Yatırım_Fizibilitesi.pdf
- Hakyemez, C. (2021). *Aylık Enerji Bülteni Ocak 2021*. Retrieved from <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-bulteni-ocak-2021.pdf>
- Huang, Y., Surawski, N. C., Organ, B., Zhou, J. L., Tang, O. H. H., & Chan, E. F. C. (2019). Fuel consumption and emissions performance under real driving: Comparison between hybrid and conventional vehicles. *Science of the Total Environment*, 659, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.349>
- Hyodo, T., Watanabe, D., & Wu, M. (2013). Estimation of energy consumption equation for Electric Vehicle and its implementation of driving behaviour . Tokyo. Retrieved from <http://www.wctrs-society.com/wp-content/uploads/abstracts/rio/selected/1356.pdf>
- IEA. (2019). *Global EV Outlook 2019*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>
- Karık, F., Sözen, A., & İskender, Ü. (2015). Türkiye’de Rüzgar Enerjisinde Mevcut Durum. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 219–234. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/302956>
- Keskin, A., & Emiroğlu, O. A. (2016). Catalytic Reduction Techniques For Post-Combustion Diesel Exhaust Emissions. *Fuels And Combustion in Engineering Journal*, (1), 16–21. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fce/313115>
- Kızıltuğ, M. (2002). *Wind Energy*. Istanbul Technical University.
- Köroğlu, T., Teke, A., Bayındır, K. Ç., & Tümay, M. (2010). Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, (439), 98–104. Retrieved from https://www.emo.org.tr/ekler/8e692a34a5e564e_ek.pdf?dergi=610
- López, I., Ibarra, E., Matallana, A., Andreu, J., & Kortabarria, I. (2019). Next generation electric drives for HEV/EV propulsion systems: Technology, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109336. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109336>
- Luo, Y. (2010). Wind Turbine Site Selection Over Abandoned Mined Land. In *NAAML 32nd Annual Conference, Sept. 19–22, 2010, Scranton, PA* (pp. 2–16).
- Manoharan, Y., Hosseini, S. E., Butler, B., Alzahrani, H., Senior, B. T. F., Ashuri, T., & Krohn, J. (2019). Hydrogen Fuel Cell Vehicles; Current Status and Future Prospect. *Applied Sciences*, 9(11), 2296. <https://doi.org/10.3390/app9112296>
- Martinez-Lao, J., Montoya, F. G., Montoya, M. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2017). Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 970–983. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.239>
- Martins, J., & Brito, F. P. (2020). Alternative fuels for internal combustion engines. *Energies*, 13(15), 2–33. <https://doi.org/10.3390/en13164086>
- Masters, G. M. (2013). *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, (2nd Edition). Wiley-IEEE Press. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-us/Renewable+and+Efficient+Electric+Power+Systems%2C+2nd+Edition-p-9781118633502>
- MGM, M. G. M. (2021). Türkiye Rüzgar Atlası. Retrieved March 11, 2021, from <https://mgm.gov.tr/genel/ruzgar-atlası.aspx>
- Mruzek, M., Gajdác, I., Kučera, L., & Barta, D. (2016). Analysis of Parameters Influencing Electric Vehicle Range. *Procedia Engineering*, 134, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.056>
- Oral, M. (2020). Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve PV Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği. *International Journal of Geography and Geography Education*, 42(42), 482–503. <https://doi.org/10.32003/igge.743513>
- Özdoğan, F. S., & Bitlisli, F. (2019). Güneş Enerjisi ile Elektrik Üreten İşletmelerin Muhasebe Uygulamalarının TDHP ve TMS/TFRS Çerçevesinde Karşılaştırılması . *Balıkesir University The Journal of Social Sciences Institute*, 22(42), 255–279. <https://doi.org/10.31795/baunsobed.657853>
- Özgür, E. (2020). *Türkiye’nin Enerji Görünümü*. Retrieved from https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-12_Türkiye%27de_Güneş_Enerjisi_Evren_Özgür.pdf
- Ozsezen, A. N., & Canakci, M. (2011). Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle. *Energy*, 36(5), 2747–2752. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2011.02.014>

- Pedrozo, V. B., May, I., Dalla Nora, M., Cairns, A., & Zhao, H. (2016). Experimental analysis of ethanol dual-fuel combustion in a heavy-duty diesel engine: An optimisation at low load. *Applied Energy*, 165, 166–182. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.052>
- Rezaei, A., Burl, J. B., Solouk, A., Zhou, B., Rezaei, M., & Shahbakhhti, M. (2017). Catch energy saving opportunity (CESO), an instantaneous optimal energy management strategy for series hybrid electric vehicles. *Applied Energy*, 208, 655–665. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.089>
- Sarıkaya, S. (2012). *Güneş Enerjisi Sektör Raporu*. Retrieved from <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/g-c3-bcne-c5-9f-20enerjisi-20sekt-c3-b6rel-20analiz-20raporu.pdf>
- Saygın, D., Bülent, O., Teimourzadeh, S., Hildermeier, J., Koç, M., & Kolokathis, C. (2019). *Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü: Elektrikli araçların Türkiye dağıtım şebekesine etkileri*. Retrieved from <https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019/12/Turkiye-ulasirma-sektorunun-donusumu-Elektrikli-aracilarin-Turkiye-dagitim-sebekesine-etkileri-.pdf>
- Sayın, A. A., & Yüksel, İ. (2011). Elektrikli Renault Fluence Aracı, Lityum İyon Bataryasının Modellenmesi ve Batarya Yönetimi. *Mühendis ve Makina*, 52(615), 75–82. Retrieved from http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/49c18c0be0e96e2_ek.pdf?dergi=1129
- Sun, C., Sun, F., & He, H. (2017). Investigating adaptive-ECMS with velocity forecast ability for hybrid electric vehicles. *Applied Energy*, 185, 1644–1653. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.026>
- Sun, Z., Wen, Z., Zhao, X., Yang, Y., & Li, S. (2020). Real-World Driving Cycles Adaptability of Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 11(1), 19. <https://doi.org/10.3390/wevj11010019>
- TEİAŞ. (2021). 2020 yılı elektrik-uretim-tuketim-raporu. Retrieved March 10, 2021, from <https://www.teias.gov.tr/TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>
- Teter, J., Tattini, J., & Petropoulos, A. (2020). *Tracking Transport 2020 – Analysis - IEA*. Retrieved from https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020?utm_content=buffer5a8e1&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer#
- TOGG. (2020). TOGG. Retrieved March 30, 2020, from <https://www.togg.com.tr/content/otomobil>
- Traub, L. W. (2011). Range and endurance estimates for battery-powered aircraft. *Journal of Aircraft*, 48(2), 703–707. <https://doi.org/10.2514/1.C031027>
- TUİK. (2020). Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2020. Retrieved March 10, 2021, from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Road-Motor-Vehicles-December-2020-37410>
- Türeb, T. R. E. B. (2021). *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu 2020*. Retrieved from <https://tureb.com.tr//anasayfa>
- Wang, J., Besselink, I., & Nijmeijer, H. (2015). Electric vehicle energy consumption modelling and prediction based on road information. *World Electric Vehicle Journal*, 7(3), 447–458. <https://doi.org/10.3390/wevj7030447>
- Williams, M., & Minjares, R. (2016). *A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards*. Retrieved from https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Euro
- 6-VI_briefing_june2016.pdf
- Yıldız, S. S. (2021). Balıkesir İli Rüzgâr Hızı Haritalarının Hazırlanması ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Açısından İncelenmesi. *Geomatik*, 6(3), 198–206. <https://doi.org/10.29128/geomatik.737567>



Experimental Study on Strength Characteristics of Blended Geopolymer Mortar

Dia Eddin Nassani^{1*}

^{1*}Hasan Kalyoncu University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4196-8822),
diaeddin.nassani@hku.edu.tr

(First received 6 April 2021 and in final form 30 May 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.933751)

ATIF/REFERENCE: Nassani, D. E. (2021). Experimental Study on Strength Characteristics of Blended Geopolymer Mortar. *European Journal of Science and Technology*, (25), 70-74.

Abstract

This study investigates the effect of fly ash (FA) class F content and curing temperature on the compressive strength of Geopolymer Mortar (GPLM). GPLM is produced from FA mixed with the alkaline solution. The experimental test was performed on GPLM cubes with curing temperature of 70, 90 and 110 °C with curing period of one day. The alkaline activator was a combination of 12M NaOH solution with sodium silicate in the ratio of 1:2.5. The ratio of alkaline solution to binder equal to 0.50. Test results indicate that the increment in the FA content increases the compressive strength of GPLM. The strength increases with the increase of curing temperature of GPLM. Moreover, blended GPLM with high percentage of fly ash has less sorptivity.

Keywords: Curing, GPLM, Fly ash, Mortar, Compressive strength

Jeopolimer Harcın Mukavemet Özellikleri Üzerine Deneysel Çalışma

Özet

Bu çalışma, uçucu kül (FA) içeriğinin ve kür sıcaklığının Jeopolimer Harcın (GPLM) basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırmaktadır. GPLM, alkali çözelti ile karıştırılmış FA'dan üretilir. Deneysel test, bir günlük kürleme süresi ile 70, 90 ve 110 ° C kürleme sıcaklığı ile GPLM küpleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Alkalin aktivatör, 12M NaOH çözeltisinin 1: 2.5 oranında sodyum silikat ile bir kombinasyonuydu. Alkali çözeltinin bağlayıcıya oranı 0,50'ye eşittir. Test sonuçları, FA içeriğindeki artışın GPLM'nin basınç dayanımını artırdığını göstermektedir. GPLM'nin kürleme sıcaklığının artmasıyla mukavemet artar. Ayrıca, yüksek oranda uçucu kül içeren harmanlanmış GPLM daha az sorptiviteye sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Kürleme, GPLM, Uçucu kül, Harç, Basınç dayanımı

¹ Corresponding Author: diaeddin.nassani@hku.edu.tr

1. Introduction

It is widely known that the production of Portland cement consumes considerable energy and also contributes a large amount of CO₂ to the atmosphere. However, Portland cement is still the main binder in concrete structure leading to the search for more environmentally friendly materials.

On the other hand, climate change due to global warming, one of the biggest environmental problems, has become a major concern in the last decade. Global warming is caused by the release of greenhouse gases such as CO₂ into the atmosphere through human activities. Among the greenhouse gases, CO₂ contributes about 65% of global warming [1]. The cement industry is responsible for about 6% of all CO₂ emissions because one tonne of Portland cement production releases about one tonne of CO₂ into the atmosphere [1, 2].

In this context, the GPLM technology proposed by Davidovits [3, 4] holds an important promise for application in the concrete industry as an alternative binder to Portland cement. In terms of reducing global warming, GPLM technology can reduce the CO₂ emission caused by the cement industry to the atmosphere by about 80% [1].

A possible alternative is the use of an alkali activated binder using industrial byproducts containing silicate materials. The most common industrial by-products used as binder materials are fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GGBFS). While GGBFS is widely used as a cement replacement material due to its strength, fly ash has been used as a pozzolanic material to improve the physical, chemical and mechanical properties of concrete [5]. Fly ash is a coal combustion product that is composed of the particulates (fine particles of burned fuel) that are driven out of coal-fired boilers together with the flue gases.

The production material such as fly ash and slag within GPLM concrete also necessary to reduce approximately 5% of global Carbon dioxide emission instead of using OPC, industrial manufacture slag and fly ash increase up to 80% less greenhouse gas emissions. The opportunity of fly ash and Slag create a chance to use burning coal and iron, as a replacement for OPC. Portland cement replacing fly ash and slag as the binder increase the strength of GPLM concrete. The fly ash-slag with presence of admixtures increases the high strength GPLM concrete.

Mechanical properties of GPLM are better than cement paste. Therefore, not only helps to generate less CO₂ than OPC, but also one of the best behavior of GPLM is converting waste material such as fly ash and slag useful material for making friendly-economic concrete.

In this work, FA is used as a part of the total binder. The FA-based GPLM with added alkali to form the GPLM mortar. The manufacture of GPLM mortar is carried out using the usual practice in concrete technology. High FA content in GPLM produced in ambient temperature achieved high strength [6].

As the demand for GPLM directly increases with the addition FA, the curing temperature takes place an important role in the development of strength. Curing temperature of 70, 90 and 110 °C with curing period of one day were used in all mixes.

The aim of the research is to evaluate the effect of fly ash on the properties of GPLM mortar. The primary objectives of this research are as follows:

- To make a new green binder to replace cement, with a low-cost, better mechanical strength and improving absorption properties.
- Study the effect of different proportions of FA in the binder on mechanical properties of GPLM concrete.
- Evaluation of the performance of FA-based GPLM mortar with respect to the strength properties.

2. Experimental Work

This Section describes the experimental work. First of all, materials, mixing ratios, production and curing of test samples are explained. This is then followed by the sample types, test parameters and test procedures used. The aim of this research is to evaluate the effect of different amounts of FA on the mechanical and durability of the GPLM mortar.

2.1 Materials

The materials utilized for producing GPLM mortar are fly ash as a source material, the combination of sodium silicate and sodium hydroxide as alkaline liquid activator, and superplasticizer in liquid for improving the strength of concrete.

- Fly Ash

In the present study low calcium fly ash (ASTM Class F) from local sources was utilized as a source material. Table 1 shows physical and chemical compositions of fly ash. Class F fly ash normally produced from burning anthracite or bituminous coal.

Table 1 Physical and chemical properties of fly ash

Physical and chemical analysis (%)	FA
CaO	2.20
SiO ₂	57.20
Al ₂ O ₃	24.40
Fe ₂ O ₃	7.10
MgO	2.40
SO ₃	0.30
K ₂ O	3.40
Na ₂ O	0.40
Loss on ignition (LOI)	1.50
Specific gravity	2.250
Specific surface area (m ² /kg)	379.0

- Aggregate

Aggregates were used as a fine aggregate locally in western part of Turkey's Southeastern Anatolian Region; Gaziantep for producing fly ash and slag based GPLM mortar.

- Alkaline Activator

Sodium based activator (a combination of sodium silicate and sodium hydroxide solution) was chosen as the alkaline activator for activating GPLM concrete. Sodium activator was picked because they were cheaper than potassium activators. The NaOH used in this study was in pellets from with 97-98% purity and were dissolved in water at 24 hours prior to mixing. Figure1 shows the preparation of alkali solution.



Figure 1 Alkaline activator (Sodium silicate and Sodium hydroxide)

- Superplasticizer

In order to improve the strength of fresh concrete, high-range water-reducing naphthalene based superplasticizer was added to the mixture, and specific gravity was 1.07. Gelenium 51 was used in this search to develop the strength of concrete. Properties of the superplasticizer is shown in table 2.

Table 2 Properties of superplasticizer

Properties	Superplasticizer
Name	Glenium 51
Color tone	Dark brown
State	Liquid
Specific gravity (kg/1)	1.07
Chemical description	Polycarboxilate ether

2.2 Manufacture GPLM Mortar

Alkali activator was prepared by mixing sodium hydroxide and sodium silicate one day in advance to ensure it to cool down in a room at temperature (25°C). Fly ash and aggregate were first mixed together pan mixer for 3 minutes to ensure homogeneity of the mixture. Then, mortar mixer stopped. The liquid components that contain sodium hydroxide solution, sodium silicate and superplasticizer were added to the dry materials and the mixing continued for further about 5 minutes to produce the fresh fly ash and slag based GPLM mortar. Figure 2 shows the resource material and alkali activator of GPLM concrete.

Then, the fresh GPLM mortar was poured into 50x50x50 mm cube molds directly after mixing in to two layers, as described in the ASTM C109 standard. Moreover, for the compaction of the specimens the rod was employed, and each layer of GPLM

mortar was tamped 25 times with a rod. To remove air voids, all the cast specimens were vibrated on a vibrating table for 2 minutes. Figure 2 shows adding alkaline activator to the dry components.



Figure 2 Adding alkaline activator to the dry components

Before pouring the prepared equipment, fresh concrete was poured into molds immediately after mixing, two layers for prismatic samples. As shown in Figure 3, samples were covered with vacuum bagging film to minimize water evaporation during curing temperature.



Figure 3 Casting geopolymer mortars

2.3 Curing

After casting, for minimizing water evaporation, the test specimens were wrapped with vacuum bagging film at high temperature as shown in Figure 4. In this study dry heat curing was used, the specimens were cured in oven at curing temperature of 70, 90 and 110 °C and curing period is 24 hours.



Figure 4 Dry (oven) Curing

2.4 Mixture Proportion

Table 3 summarized the detail of mixture proportions based on percentage of fly ash was tried during the experimental research for producing GPLM mortar. Five mixes were tested in this study; each mixture has different proportion of FA as shown in table 3. Main features are:

- 1- Fly ash was used.
- 2- Water just used for dissolution NaOH pellets.
- 3- Na₂SiO₃ was mixed NaOH in all mixtures.
- 4- Superplasticizer was used.
- 5- Curing period was 24 hours for all specimens.
- 6- Oven dry curing was used.

Table 3 mixture proportions

Mixture	Mix1	Mix2	Mix3	Mix4	Mix5
Sand	2639	2539	2439	2339	2239
Fly ash	600	700	800	900	1000
Water	177	177	177	177	177
Sodium silicate	428.5	428.5	428.5	428.5	428.5
Sodium hydroxide	171.5	171.5	171.5	171.5	171.5
Super plasticizer	72	72	72	72	72

3. Experimental tests for GPLM Mortar

3.1 Compressive Strength

In the strength study of materials, compressive strength is the capacity of a material or structure to withstand loads that tend to reduce. Cubes were followed for cement mortar according to ASTM C109. Each mixture was poured into several cubes of mold by filling the mold halfway and vibrating for 30 seconds, filling the mold the rest of the way and vibrating it again for 30 seconds, and then flattening the top. The molds were then covered with plastic and sealed again in vacuum packaging to maintain a moist environment during curing. After mixing the molds, they were placed in the oven at 70, 90 and 110 ° C for 24 hours. A 3000 kN capacity digital pressure test machine with a loading speed of 0.5 kN / sec was used. For each parameter tested, three identical samples were tested according to ASTM C-109 and average

compressive strength values are reported in the respective tables and graphs.

The compressive strength of the specimens was calculated using the equation:

$$f_c = P/A$$

Where,

f_c = Compressive strength (MPa)

P = maximum force applied (kN),

A = Cross sectional area (mm²)

3.2 Splitting Tensile Strength

The hardening of the fly ash-based GPLM mortar samples after 24 hours of curing was performed with a loading speed of 0.1 kN / sec and split tensile strength in a digital machine with 3000 kN capacity according to ASTM C37. Three identical 50x50x50mm cubic specimens were tested for each mixture, the result value given and reported in various figures and graphics.

Splitting tensile strength of the specimen was calculated using the expression below

$$f_s = \frac{2P}{\pi a^2}$$

Where f_s is splitting tensile strength (MPa), P is splitting load (N), a is dimension of cubic specimen (mm).

3.3 Water sorptivity test

Sorptivity can be considered one of the easiest tests to evaluate the permeability of mortar concrete. Water can enter the concrete or mortar samples through capillary suction. It can also measure the rate of absorption liquid entering the mortar concrete by capillary suction. Sorptivity will be determined by measuring capillary water absorption by absorption based on both capillary pressure and effective porosity. According to the Young-Laplace equation, capillary pressure and effective porosity depending on the size of the pores are related to the pore space in gel pores and capillaries according to Neville [7]. The sorptivity test evaluates the amount of capillary rise absorbed by mortar or concrete samples. Three identical specimens were tested, then the side specimen covered with silicone gasket to ensure that water only entered from the bottom of the specimen, followed by the mortar specimens immersed in water. During the test it should be observed that the water level is not kept more than 5 mm from the lower face of the sample. The time was recorded immediately after the samples were placed in the support device (initial contact with water). The increase in mass gain is weighted at different time intervals of the prism at 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 and 64. get to the surface before taking any weight. And we place them on a dry-surface electric pan scale so that the absorbent surface is not touched, and return them to their sponges within 15 seconds.

4. Experimental Results and Discussion

4.1 Compressive Strength

Compressive strength is considered as one of the most important properties of hardened concrete. It is generally the main property value used to investigate the quality of concrete

according to ASTM C109. That is why it is important to evaluate whether changes in the mixture composition will affect the early and late compressive strength of GPLM. Compressive strength results of GPLM for cubic molds 50x50x50 at ages of 1day and with different curing temperature is given in Table 4.

Table 4 Compressive strength of GPLM mortar at different curing temperature (MPa)

Mixtures	70°C	90°C	110°C
Mixture1	26.1	26.5	27.1
Mixture2	27.8	28.0	28.9
Mixture3	29.1	30.2	31.5
Mixture4	32.4	33.9	34.8
Mixture5	35.4	36.8	39.0

It can be seen from that strength development of the GPLM concrete increase when the percentage of FA increase. Comparing the strength developments of the GPLM concrete mixtures of all mixture, it can be seen that the inclusion of FA in the binder has increased compressive strength. The improvement of strength of fly ash-based GPLM mortar is due to the increase of calcium bearing compound in the dissolved binder which produced reaction product from FA. Moreover, the strength increases with the increase of curing temperature of GPLM.

4.2 Splitting Tensile Strength

GPLM mortar is very weak in tension due to its hard brittle nature and is not expected to resist direct stress. Concrete cracks heal when subjected to tensile forces. Therefore, it is necessary to find the split tensile strength of the mortar to determine the load at which the specimen can crack. The results of the split tensile strength summarized in Table 5 can be concluded that the increase in FA content increases the tensile strength of GPLM. The strength increases as the curing temperature of the GPLM increases.

Table 5 Splitting tensile of GPLM mortar at different curing temperature (MPa)

Mixtures	70°C	90°C	110°C
Mixture1	2.5	2.6	2.6
Mixture2	3.2	3.5	3.6
Mixture3	3.3	3.7	3.7
Mixture4	3.5	3.7	3.8
Mixture5	3.7	3.7	3.9

4.3 Water sorptivity test

Sorptivity test is one of the most important tests that evaluate the capillary structure of GPLM. The experimental results on water sorptivity at age of 1 day. Test results indicate that the increment in the FA content reduce the sorptivity of GPLM.

5. Conclusion

This Chapter presents a brief summary of the study and a set of conclusions drawn from the study. The mechanical properties included in the study are compression and tensile testes while a durability property measured using sorptivity test.

In the present study, the experimental test of different proportions of FA in the binder on mechanical and durability properties of GPLM mortar. Five mixes have been tests; each mixture has different proportion of FA. It can be concluded that GPLM mortar with high percentage of FA gain high compressive and tensile strength.

Test results indicate that the increment in the FA content increases the compressive and tensile strength of GPLM. The strength increases with the increase of curing temperature of GPLM. Moreover, blended GPLM with high percentage of fly ash has less sorptivity.

References

- [1] Mccaffrey, R. (2002). Climate change and the cement industry, Global cement and lime magazine (environmental special issue), 15-19.
- [2] Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. In Kiev (Ed.), First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, 1, 131-149.
- [3] Davidovits, J. (1988a). Geopolymer Chemistry and Properties, Paper presented at the Geopolymer '88, First European Conference on Soft Mineralurgy, Compiègne, Franc.
- [4] Davidovits, J. (1988b). Geopolymers of the First Generation: SILIFACE-Process Paper presented at the Geopolymer '88, First European Conference on Soft Mineralurgy, Compiègne, France.
- [5] Temuujin, J., van Riessen, A., & MacKenzie, K. J. D. (2010). Preparation and characterisation of fly ash based geopolymer mortars. Construction and Building Materials, 24 (10), 1906-1910.
- [6] Van Jaarsveld, J. G. S., Van Deventer, J. S. J., & Lukey, G. C. (2003). The characterisation of source materials in fly ash-based geopolymers. Materials Letters, 57 (7), 1272-1280.
- [7] Neville, A.M. (2000). Properties of Concrete. Longman scientific and Technical



Mevzuatta Tanımlanmayan Donatı Alanı Gereksinimi ‘Anne-Çocuk Evi’

Leyla Suri ^{1*}

^{1*} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3225-1221), lsuri@ticaret.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.931708)

ATIF/REFERENCE: Suri, L. (2021). Mevzuatta Tanımlanmayan Donatı Alanı Gereksinimi ‘Anne-Çocuk Evi’. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (25), 75-86.

Öz

Kentsel donatılar, kentsel bölgeler hiyerarşisi bağlamında, bölgesindeki kullanıcı gereksinimini karşılayan, kullanım hakkı kamuda bulunan açık ve kapalı mekânlardır. Donatı alanı gereksinimi, imar planı amaçları paralelinde hizmet verdiği alandaki nüfusun sosyo kültürel yapısı ve demografik verilerine göre belirlenir. Kentsel sistemlerde yer alması gereken donatı alanı niteliği ve büyüklüğü, yönetmeliklerde de belirtilmiştir ancak kentsel alanın alt bölgesi olan ‘mahalle’ kademesinde, mahalle nüfusunda önemli yer tutan çocuk ve çocuğu ile en yakın ilişki kuran ebeveynin (çoğunlukla annenin) kolaylıkla erişebileceği donatı alanının mevzuatta tam karşılığı bulunmamaktadır.

Çocuk ve ebeveynin sosyal yaşantının dışında kalmadan, en temel ihtiyaçlarının karşılanabilmesi amacı ile yasal sisteme uyarlanmak üzere kurgulanan ‘Anne Çocuk Evi’ donatı alanı, bu çalışmanın konusunu oluşturmuştur. Çalışma kapsamında; adı geçen donatı alanının (kentsel tesisin) tanımlanması, mahalle ölçeğinde büyüklüğü, yer seçimi ve uygulanabilirliği ele alınarak irdelenmiştir. Donatı alanı kavramı, mahalle konsepti, yerel ihtiyaçlar, yürürlükteki mevzuat, Anne-Çocuk Evi ekseninde ele alınmıştır.

Anketler ve röportajlar mahalle ölçeğindeki kullanıcı ihtiyaçlarının saptanmasına olanak sağlayan en önemli verileri oluşturmuştur. Konu ile ilgili yerel idarelerin yetki ve sorumluluklarını düzenleyen yasalar, donatı alanı niteliği ve alansal büyüklüğünü kapsayan mevzuat, çalışma kapsamında ele alınmış, mevcut yasal sistemle çatışmayan, mevcut sisteme uyarlanabilecek nitelikte yeni bir donatı alanı önerilmiştir. Öneri donatı alanının yeni olmasının yanı sıra, güncel mevzuatta genel başlıklarda bulunan, kalkınma planları ve taraf olunan uluslararası sözleşmelerdeki sorumlulukları karşılayan ancak detaylandırılmamış ve netlik kazanmamış tanımlara cevap veren ‘donatı alanı’ olarak nitelendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Donatı Alanı, Anne, Çocuk, Mevzuat, Mahalle

The Need For A ‘Mother And Child Hub’, Not Defined In Legislation

Abstract

Within the context of urban zones hierarchy, urban facilities are open and closed places that meet the needs of the users in the region and that are under public use. The requirement for the facility is determined according to the socio-cultural structure and demographic data of the population in the region it serves in parallel with the zoning plan. The quality and size of the facility that should be included in the urban systems are determined with the regulations, but for the ‘neighborhood’ level that is the sub-region of urban area, the facility easily accessible by the children and their parents (mostly the mother) having close relationships with the children who occupy an important place in the neighborhood population remains uncovered in the regulations.

The subject of this study is the ‘Mother and Child House’ facility that is designed to be adapted to the legal system in order to meet the most basic needs of the child and parent without being excluded from the social life. Within the scope of this study, the abovementioned facility is defined and the size, location and applicability of the facility are examined at neighborhood-scale. The notion of facility, neighborhood concept, local needs, and the prevailing legislation are discussed within the framework of ‘Mother and Child House’.

Keywords: Facility, Mother, Child, Legislation, Neighborhood.

* Sorumlu Yazar: leylasuri15@gmail.com, lsuri@ticaret.edu.tr

1. Giriş

'Anne-Çocuk Evi' donatı alanı, güncel mevzuatta adı geçmeyen ancak yürüme mesafesinde erişilebilir her alt bölgede (mahallede) bulunması gereken yeni bir donatı alanı olarak önerilmektedir. Adı geçen kavram, "Kentsel Tesis" kavramına da karşılık gelmektedir. Bu çalışmada "donatı alanı" olarak ifade edilmektedir.

Toplam nüfusun yarısını kadın nüfusu oluşturmaktadır. Bebek sahibi olmasını takip eden yıllarda, çocuk ve anne için hareket yeteneği kısıtlıdır. Özellikle kentlerde çekirdek aile yaşamı içinde, zamanının hemen hemen tamamını bebeğiyle geçiren anne, hem sosyal hem de psikolojik desteğe doğrudan ihtiyaç duymaktadır. Annenin sosyal ortamlara erişebilmesi ve kendini geliştirebilmesine olanak sağlanması ile sağlıklı, becerikli, üretken bireyler yetiştirmesi, doğru orantılıdır. 10. Beş yıllık Kalkınma Planında da kadın nüfusunun aktif hayata katılması doğrultusundaki rolünün güçlendirilmesi öngörülmektedir.

Ebeveyn ve çocukların, en temel ihtiyaçlarının karşılanabilmesi amacı ile Anne Çocuk Evi donatı alanı önerilmektedir. Güncel mevzuatta genel başlıklarda donatı alanı olarak ifade edilen sosyal ve kültürel kentsel tesis ihtiyaçları tanımlanmıştır ancak özellikle çocuk ve en yakınındaki ebeveyni için, donatı alanı tanımlaması bulunmamaktadır. Çalışmanın konusu olan donatı alanı; ön araştırmalarla belirlenen varsayımlara göre kurgulanmıştır. Şöyle ki; Anne-Çocuk Evi donatı alanı;

- Mahalle ölçeğinde, yürüme mesafesinde rahatlıkla erişilebilecek konumda yer almalıdır,
- Bebek-çocuğun oyun, refakat eden ebeveynin, eğitim ve sosyalleşme talebine karşılık gelmelidir,
- İlk ve ortaokul çağındaki çocuğun, okul dönüşü; oyun, dinlenme, etüd ihtiyacını karşılamalıdır...

Çalışma kapsamında; öneri donatı alanının, yasal sisteme uyarlanabilirliği ve uygulanabilirliği hedeflenmiştir. Buna göre; yasal sisteme geçecek tanımı yapılmış, planlarda dikkate alınacak donatı alanı büyüklüğü, minimum parsel ve bina büyüklükleri, açık ve kapalı alan oranları hesaplanmış, ihtiyaç programı, uygulamadan sorumlu birimler, uygulama (finans) kaynakları; yasal sisteme uyarlanabilecek dayanakları ile açıklanmıştır. .

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın en önemli materyalleri, öncelikle kalkınma planları olmak üzere, mevcut yasal sistemdeki donatı alanı tür ve büyüklüklerinin alındığı yasalardır. Birleşmiş Milletlerin çocuk haklarına ilişkin sözleşmeleri, farklı ülkelerdeki donatı alanı tür ve büyüklüklerine ilişkin kaynaklar incelenmiştir. Anketler ve röportajlar, mahalle ölçeğindeki kullanıcı ihtiyaçlarının saptanmasına olanak sağlayan en önemli verileri oluşturmuştur. Hedef kitlenin gerçek ihtiyacını ne olduğunu anlayabilmek amacı ile, anket soruları, doğrudan ya da açık uçlu olarak hazırlanmış, cevap ve beklentilerine göre yaklaşım geliştirilmiştir (Erkan, Yenen, 2010). Konu ile ilgili yerel idarelerin yetki ve sorumluluklarını düzenleyen yasalar, donatı alanı niteliği ve alansal büyüklüğünü kapsayan mevzuat, çalışmada ele alınarak incelenmiştir. Yasaların ilgili maddeleri ve yurtdışı örneklerin anlaşılmasını kolaylaştıran çizelgeler hazırlanmıştır. Sonuçta mevcut yasal sistemle çatışmayan, mevcut sisteme

uyarlanabilecek, uygulanabilecek nitelikte yeni bir donatı alanı önerilmiştir. Öneri donatının yeni olmasının yanı sıra, güncel mevzuatta genel başlıklarda bulunan, kalkınma planları ve taraf olunan uluslararası sözleşmelerdeki sorumlulukları karşılayan ancak detaylandırılmamış ve netlik kazanmamış tanımlara cevap veren 'donatı alanı' olarak nitelendirilmesi amaçlanmıştır.

2.1. Anne-Çocuk Evi'nin Önemi ve Gerekliliği

Çocuk gelişimi, çocukların gelişimi ile yakın ilgisi olan ebeveynin sosyal ve kültürel hayattaki konumu birçok bilimsel çalışmada ele alınmıştır.

Birleşmiş Milletler tarafından yayınlanan Çocuk Hakları Sözleşmesinde çocuğun, boş zaman değerlendirme, dinlenme, kültürel ve sanatsal etkinliklere katılma, oyun oynama, hakkına sahip (BM., 1989) olduğu belirtilmektedir. Sözleşmenin, uluslararası düzeyde yasal bağlayıcılığı vardır (Şişman, Özyavuz, 2010).

Ülkemizde 2014-2018 dönemini kapsayan 10. Kalkınma Planında; okul öncesi eğitimi okullaşma oranının, 4-5 yaş gurubu için 0.44 seviyesinde (M. 138) olduğu ve erken dönem çocuk gelişme programının gereken düzeyde olmadığı (M. 260) belirtilmiştir. 11. Kalkınma Planında; tüm kademelerde eğitime erişimde yaşanan gelişmelere karşın, okul öncesi eğitimde erişimin artırılması ihtiyacının önemini koruduğu vurgulanmaktadır (M. 150).

Adı geçen planın amaç ve hedefleri özetle;

"...kalkınma sürecine herkesin ve her yörenin katılımını azami düzeye çıkarmayı"(M.129), düşünme, algılama ve problem çözme yeteneği gelişmiş... bilim ve teknoloji kullanımına ve üretimine yatkın, bilgi toplumunun gerektirdiği temel bilgi ve becerilerle donanmış, üretken ve mutlu bireylerin yetişmesini (M. 142), vatandaşın yaşam kalitesi ve süresinin yükseltilmesi ile ekonomik, sosyal ve kültürel hayata bilinçli, aktif ve sağlıklı bir şekilde katılımlarının sağlanmasını (M. 172), kadınların sosyal, kültürel ve ekonomik yaşamdaki rolünün güçlendirilmesini (M. 249), çocukların üstün yararı gözetilerek iyi olma hallerinin desteklenmesi, potansiyellerini geliştirmeye ve gerçekleştirmeye yönelik fırsat ve imkânların artırılması, başta eğitim, sağlık, adalet ve sosyal hizmetler olmak üzere temel kamu hizmetlerine erişimlerinin artırılmasını (M. 263) ele almaktadır.

Yukarıda özetlenen hedeflerin gerçekleştirilme araçları aynı planda; öğrencilerin sosyal, zihinsel, duygusal ve fiziksel gelişimine katkı sağlayan okul öncesi eğitim, imkânları kısıtlı hane ve bölgelerin erişimini destekleyecek şekilde yaygınlaştırılacağı (M. 146), aile danışmanlık ve eğitim hizmetlerinin kapsamlı, standart, etkin ve yaygın hale getirileceği, (M. 250), kadınların eğitim ve beceri düzeylerinin yükseltilmesinin sağlanacağı (M. 251), çocukların iyi olma halleri ve temel becerilerinin geliştirileceği (M. 265) modellerin oluşturulacağı şeklinde açıklanmaktadır. 11. Kalkınma Planında da benzer hedef ve araçlar tanımlanmakta; "Çocukların üstün yararı temelinde iyi olma hallerinin destekleneceği (M. 605), erken dönem çocuk bakım, eğitim ve gelişimine yönelik hizmetin, erişilebilirliğin ve niteliğinin yükseltileceği...", belirtilen erken çocukluk dönemine hizmet veren, aynı zamanda çocukların fiziksel-sosyal-zihinsel gelişimlerinin destekleneceği kurumların çeşitlilik ve sayısının artırılacağı, bireysel ihtiyaçlar ve yoksunlukların giderileceği, erken çocukluk döneminde de her bölgeye fırsat eşitliği sunulacağı (M. 606-608), yerel yönetimlerin aileleri destekleyeceği (M. 598), kadınların ekonomik ve sosyal

hayatta güçlenmelerini sağlayacak eğitimlerin verileceği (M. 600) belirtilmektedir.

Çocuğun oyun oynamasının; beslenme, sağlık, barınma ve eğitimle birlikte, fiziksel, ruhsal, zihinsel ve sosyal gelişimini yönlendiren yaşamsal önemi olduğu bilinmektedir (Heseltine, Holborn, 1987, a Şişman, Özyavuz, 2010). Heseltine ve Holborn; oyunun; çocuğun öğrenmesini, gelişmesini ve büyümesini içerirken, rekreasyonun; rahatlama ve keyif yoluyla ruhları canlandırdığından bahisle, oyun ve rekreasyon arasındaki farkı dile getirmiştir. Yapılan araştırmalarda, 17 yaşına kadarki zihinsel gelişmenin, 0.50'sinin 4 yaşına, 0.30'unun 4 yaşından 8 yaşına kadar olduğu, 18 yaşına kadar gösterilen okul başarılarının 0.33'ünün 0-6 yaşına kadar aldıkları eğitime bağlı olduğu görülmüştür (Tekiner, 1996).

Çocuğun sosyalleşmesi ve gelecekteki kimliğinin belirlenmesinde en yakınında bulunan insanların, ebeveynin (Güngörmüş, 1995), özellikle de annenin etkisi tartışılmaz bir gerçektir. Okul öncesindeki dönemde sürekli denetim ve bakıma gereksinim duyan çocukla birlikte olan ebeveynin (daha çok annenin) kendisini ifade edebilecek, enerjisini doğru kaynaklarda kullanabilecek, güvenli, hem fiziksel hem de sosyal ve ekonomik açıdan kolay erişilebilir alanlara gereksinim duyduğu; çalışma kapsamında yapılan anketlerde, ankete katılan tüm deneklerin paylaştığı ortak görüştür. Gene aynı anketlerde çocuk okul çağına geldiğinde; ebeveyni çalışan, ancak okul dönüşü evinde tek başına kalamayacak olan yaş grubu için de öncelikle güvenli, kamusal nitelikte, sosyalleşme ve eğitime okul dışında katkı sağlanabilecek mekânlara ihtiyaç duyulduğu tüm denekler tarafından belirtilmiştir. Bu ihtiyaçları karşılamak üzere önerilen Anne-Çocuk Evi donatı alanı, güncel mevzuatta, tam karşılığı ile yer almamaktadır.

Farklı başlıklar altında, yerel ölçekte, kamusal ve özel mülkiyette, ebeveynin çocuğu ile birlikte kısa süreli aktivitesine olanak sağlayan uygulamalar olmasına karşın Ülkemizde annenin ve çocuğun kendi gereksinmelerine göre birlikte bulunabileceği, zaman geçirebileceği tanımlı nitelikli mekânlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünyaya geldiği ilk günden itibaren çocuğu ile günün her saatinde ilgilenen ebeveyn, büyük bir sorumluluk taşımaktadır. Aynı zamanda;

- Bebeğin bakımı nedeni ile sosyal ortamdan uzaklaşarak yalnızlığa itilmesi,
- Daha önce çocuğu olmadan bulunduğu ortamları, ortamın ve çocuğun birbirine karşılıklı uygun olmaması nedeniyle kullanım kısıtılılığı,
- Çocukla ilgilenen ebeveyn, yakınlarından sürekli yardım gelme garantisi olmaması,
- Ekonomik yetersizlik ve güvenlik kaygısı ile başka birine çocuğun emanet edilememesi gibi nedenlerle, ebeveynin, çocuk sahibi olduktan sonra, çevresi ile kurduğu sosyal ilişkileri farklılaşmaktadır. Halkevi gibi geniş kapsamlı kurumlarda ise halkevinin başka işlevlerinin de olması nedeni ile kısıtlı imkân tanınmakta, hem anne hem de çocuğun uzun süreli zaman geçirmesine olanak sağlayacak düzenlemeler bulunmamaktadır. Bu nedenle, annenin, benzer talep ve beklentilere sahip kesimlerle sosyalleşebileceği, ihtiyaçlarının giderilmesinde destek alabileceği (Westhead, 2016), çocuğu ile birlikte uzun süreli vakit geçirebileceği, talebi doğrultusunda eğitim alabileceği mekânlara ihtiyacı bulunmaktadır.

2.2. Donatı alanı ve Çocuk Gelişimi

Açık ve kapalı mekân kullanımı altındaki donatı alanları, çocuğun fiziksel, psikososyal, zihinsel gelişiminde en etkili araçlar olan oyun ve diğer eylem alanlarını barındırmaktadır. Çocuğun gelişme süreci; iki yaşına kadar bebeklik dönemi, 2-6 yaş arasında çocukluğunun ilk dönemi, 6-13 yaş arası ise son çocukluk dönemi olarak adlandırılabilir. Belirtilen süreçlerde okul çağına kadar ebeveynin sürekli gözetimi gerekmektedir. Okul çağı sonrası, gene denetimli ancak çocuğun bireysel olarak da sınırlı sorumluluklarını taşımaya başladığı dönemdir. Belirtilen süreç; ev ve okul arasında yaya ve araç trafiğine dikkat ederek gidip gelmek, okul ile ilgili dokümana sahip çıkmak ve taşımak, hava şartlarından korunmak, zamanı kullanmak gibi birçok konuda da deneyim kazanmaya başladığı dönemdir. Çocuklar bu dönemde sorumluluklarını taşımayı öğrenmenin yanı sıra toplumda doğru ilişkiler kurmayı, sosyal ilişkilerini ve çevre koruma bilincini geliştirmeyi, etik kuralları, rekabeti ve kendi haklarını korumayı da öğrenmeye başlamaktadır.

Çocuk gelişimine katkısı birçok çalışmada ele alınan oyun (Moore,1986), çocuğun bulunduğu her mekânda, mekânın niteliği, mekânı çevreleyen elemanlar ve kullanıcılara bağlı olarak geliştirdiği eylemlerdir. “Çocukların boş zaman geçirmeye, dinlenmeye, yaşlarına uygun olarak oyun oynamaya, kültürel ve sanatsal etkinliklere katılmaya ilişkin hakları” olduğu, anlaşmada imzası bulunan devletlerin bu haklar konusunda uygun ve eşit fırsat sağlaması gerekliliği, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından kabul edilen “Çocuk Hakları Bildirgesi'nin 31. Maddesinde belirtilmiştir (Muhacir, Özalp, 2016). Yukarıdaki başlıklarda belirtilen açıklamalar, aile ortamı dışında çocuğun oyunla kendini geliştireceği, aynı zamanda ebeveyni ile birlikte olduğu okul öncesi dönemlerinde, nitelikli zaman geçirebilecekleri donatı alanlarının, genel tanımlar dışında özel ve tanımlı olması gerekliliğine işaret etmektedir.

2.3. Yasal Uygulamalarda Donatı Alanı Kavramı

Kentsel donatılar (kentsel tesisler, kentsel hizmet alanları) bölge kademesinden mahalle kademesine kadar tüm hiyerarşik kentsel sistem içinde yer alan mekânlardır. Çalışma ve barınma alanları hem kendi kategorisi hem de birbiri ile fiziki ve sosyal etkileşim katmanlarını kapsayan bir sistem içinde yer almaktadır. Donatı alanları; “kentsel sistem” olarak da nitelendirilebilecek belirtilen mekânda; barınma ve çalışma eyleminde, kullanıcıların sosyal ve kültürel gereksinmelerini karşılayan, aynı zamanda entegrasyonunu sağlayan işlev alanlarıdır. Kentsel sistem döngüsünde, barınma, çalışma ve donatı alanları, birbirine ivme kazandıran, birbirini bütünleyen üç ana işlev alanı olma özelliğindedir. Büyüklüğü, yerleşmelerin kentsel kademelenmedeki yeri ve demografik yapı özellikleri bağlamında belirlenen donatı alanlarının konumu, aynı katmandaki fiziki ve sosyal erişilebilirlik kriterlerine göre belirlenir.

Donatı alanları, kentsel mekândaki tüm bireylere açıktır, Bu nedenle donatı alanları kamu sorumluluğunda (uhdesinde) olmalıdır; kamu yararı adına, açık ve kapalı mekânlar olarak her kesimin erişimi kapsamındadır.

Donatı alanı gereksinimi, mevzuatta genel ilkelerle belirlenmiş olmasına karşın, plan amacı paralelinde, kullanıcı kimliği ve demografik katmanlara göre farklılık gösterebilir. Planlama disiplininin sınırlarını çizen yasalarda ve yönetmeliklerde donatı alanları tanımlanmış, niteliği ve hangi büyüklükte yer alacağı belirtilmiştir. Donatı alanları; Türkiye ve dış ülkelerde çok sayıda başlık altında bulunmaktadır. Bu

çalışmada (yeni bir donatı alanı olarak oluşturulan); Anne-Çocuk Evi ile bağlantılı donatı alanları özetle ele alınmıştır.

2.4. Dış Ülkelerde Sosyal ve Kültürel Donatı Alanı Ölçütleri

Sosyal ve kültürel donatı alanları, Türkiye dışındaki ülkelerde de nüfus ya da yerleşim hiyerarşisindeki alt bölgelere göre konumlanmakta, içerik ve büyüklüğü belirlenmektedir. Aşağıda seçilmiş ülkelerdeki sosyal ve kültürel donatı alanı örnekleri verilmiştir.

Kanada'da[†], "Halk evi" ile benzer nitelikteki (community center) toplum merkezleri; mahalle, semt ve kent ölçeğinde erişim sağlanan rekreasyon, eğitim, sağlık, çocuk bakımı, kültür vb birçok alanda sosyal ve kültürel faaliyetleri içermektedir. Toplum merkezleri dışında da ayrıca; açık ve kapalı spor alanları, park ve rekreasyon alanları, kütüphaneler, kültür merkezleri, genç ve yaşlı gruba farklı hizmet veren rekreasyon, eğitim merkezleri bulunmaktadır.

Tablo 1'den izlenebileceği gibi, kentlere göre toplum merkezi kullanıcı sayısındaki farklılıklar, demografik nitelikler ve bölgesel taleplere göre değişebilen toplum merkezi dışındaki diğer donatı alanı türlerinin varlığı ile de ilgilidir. Adı geçen toplum merkezlerinin büyüklüğü; kullanıcı sayısı/kimliği, kapsamındaki fonksiyon alanlarına göre farklılık göstermektedir.

Diğer taraftan, örneğin Vancouver'da; kamusal nitelikteki 24 toplum merkezi dışında 19 adet özel toplum merkezi (private community center) bulunması, çok kültürlü toplumsal yapının özel taleplerinden kaynaklanmaktadır.

Kanada genelinde toplum merkezleri ile ilgili tüm eyalet ve kentlerde geçerli bir kentsel standart belirlenmemiştir[‡]. Bulunduğu yerleşme kademesine göre yerel idare tarafından belirlenen toplum merkezinin büyüklüğü; hizmet verdiği nüfus ve toplum merkezi kapsamındaki fonksiyon alanları değişiklik göstermektedir. İlgili merkezler; çoğunlukla, kentteki diğer sosyal, kültürel, rekreatif aktivite alanları ve eğitim alanları ile bağlantılı, iki ya da üç mahalleye hizmet verecek konumda yer almaktadır. Başka bir anlatımla; toplum merkezine erişim, yürüme mesafesinde olabileceği gibi, araçla ulaşım da gerektirmektedir. Bu çalışmada Anne - Çocuk Evi donatı alanı önerisinde de, annenin ve çocuğun yürüme mesafeleri; yer seçiminde ve yoğunluk bağlamında hinterland nüfusunda esas alınmıştır. Kanada'da toplum merkezleri kapsamındaki fonksiyonlar genellikle, spor, rekreasyon, beceri kursları, kısa süreli çocuk bakımı ve kütüphanedir (Tablo 2). Yukarıda da belirtildiği gibi; toplum merkezinden hariç, kamu kullanımında, sosyal, kültürel, sağlık, eğitim, rekreasyon ihtiyaçların karşılandığı açık ve kapalı farklı mekanlar da mevcuttur.

Fransa'da, donatı alanı türü ve sayısını Ersoy, nüfus büyüklüğüne göre vermiştir (Ersoy, 2015).

Sosyal Eylem Merkezlerinde; Sağlık ve sosyal yardım desteği sağlanmaktadır. Nüfus 3500 kişi, yapı alanı 150-300 M2, donatı standardı; 0,09 M2/kişi olarak belirlenmiştir.

Gençlik Evi, için de Fransa'da 3500 kişi için bir adet yapılması benimsenmiştir. Toplam 2100 M2 parselde 1500 M2 açık alan, 600 M2 kapalı alan bulunmakta, kapalı alan; beceri ve

hobilere yönelik atölyeler, diskotek, çok amaçlı salon, konferans salonlarını içermektedir.

Portekiz'de, yerleşme hiyerarşisine göre, her kasabada ve kentte, yerleşme büyüklüğü ile orantılı Gençlik Kültür Evleri yer almaktadır. Kapsamında; serbest zaman aktiviteleri, 6-13 yaş çocukları için çocuk başına 5-62 M2 büyüklüğünde yerel merkezler bulunmaktadır (Ersoy, 2015).

Yukarıdaki örneklerden izlenebileceği gibi; sosyal ve kültürel donatı alanı büyüklükleri, ülkelere, kentlere, demografik yapıya göre farklılık göstermektedir. Sosyo ekonomik yapı ve teknolojiye bağlı değişiklikler sosyal ve kültürel donatı standartlarının dönemlere göre güncellenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada yeni donatı alanı olarak tanımlanan Anne-Çocuk Evi donatısı yukarıda örnek olarak incelenen ülkelerdeki sosyal kültürel donatıları kapsamında da tam karşılığı ile yer almamaktadır.

2.5. Türkiye'de Sosyal ve Kültürel Donatı Alanı Ölçütleri

Planlama ve uygulama alanında donatı alanı niteliği ve büyüklüğünü belirleyen başlıca yönetmelikler Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği (R. G., 2017) ve Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği (R. G., 2014)'dir. Her iki yönetmelik de İmar Kanunu (R. G., 1985) ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Teşkilât ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname (R. G., 2011) uyarınca hazırlanmıştır. Bahsi geçen yönetmeliklerde yaklaşık 12-13 adet ana başlık altında tanımlanan donatı alanları, Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği'nde (a.g.e.) yaklaşık 30 adet başlıkta toplanmaktadır. İlgili yönetmelikte; nüfusa göre farklılaşan ve öneri Anne-Çocuk Evi donatısı ile bağlantılı donatı alanı büyüklükleri, Tablo 4'de verilmiştir.

Nüfus büyüklüğü; planlama sisteminde işlev alanlarının niteliğini, yer seçimini, yönelimini saptamak amacı ile kullanılan ölçütlerin başında gelmektedir. Demografik yapı analizleri; aynı zamanda, planlama sürecinde, kademedeki plan amacına göre, mevzuattaki standart açıklamalarda bulunmayan donatı alanı taleplerinin anlaşılmasında da önemli bir aşama niteliğindedir. Her yerleşmenin sosyo kültürel yapısı ve demografisindeki farklılıklar alt bölge sınırlarını belirleyici rol oynar. Aynı farklılık donatı alanı gereksinimlerindeki yerel taleplere de yansır. Diğer taraftan toplumun ortak paydası niteliğinde, hemen hemen tüm yerleşmelerde ihtiyaç duyulan bazı kullanımlar vardır ki imar planı donatı alan hesabı yapılmasında referans alınabilecek açık ve net tanım ile güncel mevzuatta yer almamaktadır.

Güncel mevzuatta, donatı alanı büyüklüklerinin nüfusa göre ele alındığı Tablo 4'de 'eğitim tesisleri' ana başlığı altında; ...anaokulu, halk eğitim merkezi olgunlaşma enstitüsü, 'açık ve yeşil alanlar' ana başlığında; ...çocuk bahçesi, park, semt spor alanı, ayrıca 'sosyal ve kültürel tesisler alanı' tanımlanmıştır.

Bu çalışmada önerilen Anne-Çocuk Evi donatı alanı, mevzuatta tanımlanan, eğitim, sosyal, kültürel, rekreasyon işlev alanları kapsamında değerlendirilebilir. Başka bir anlatımla, öneri donatı; anne-çocuk ya da ebeveyn-çocuk ekseninde özel tanım getirilen kontrollü kullanıma sahip kamu sorumluluğunda alan olarak nitelendirilebilir.

[†] Kanada ile ilgili bilgiler, yerinde yapılan inceleme, röportaj ve şehirlerin resmi internet sitelerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

[‡] Kentsel standart belirlenmemesine karşın; yangın, engelli, uygulama, yapı birim mekan büyüklükleri vb. konularda Ülke ölçeğinde standartlar vardır.

Tablo 1. Kanada'da Seçilmiş Kentlere Göre Toplum Merkezi Adedi ve Kullanıcı Sayısı[§]

Şehir	Toronto		Vancouver		Ottawa		Calgary		Halifax	
	adet	kişi/adet	adet	kişi/adet	adet	kişi/adet	adet	kişi/adet	adet	kişi/adet
Toplum Merk.	90	38000	24	26000	35	27000	23	53000	33	13000

Tablo 2. Kanada'da Seçilmiş Toplum Merkezi Alan Büyüklüğü ve İçerdiği Fonksiyonlar ** (Perkins, Will, 2017)

Toplum Merkezi / Bulunduğu Şehir	Alanı M2	Kapsamındaki Kullanışlar
<i>Meadows Toplum Rekreasyon Merkezi ve Kütüphane / EDMONTON</i>	23257	Su sporları, fitness, çok maksatlı salonlar, dış mekan spor ve aktivite alanları, kısa süreli çocuk bakım hizmeti (0-11 yaş), kütüphane
<i>Brooklin Toplum Merkezi ve Kütüphane/BROOKLYN</i>	5290	Spor salonu, çok maksatlı toplantı ve aktivite salonu, çocuk oyun alanı, kütüphane
<i>Creekside Toplum Merkezi/ VANCOUVER</i>	4227	Spor salonu, toplantı ve aktivite salonu, çocuk bakım hizmeti, yaz kış spor aktiviteleri
<i>Clarence-Rockland Toplum ve Kültürel Kompleks/ROCKLAND</i>	16260	Su sporları, fitness, çok maksatlı salonlar, çocuk bakım hizmeti, kütüphane
<i>Cornell Toplum Merkezi ve Kütüphane/CORNELL</i>	11610	Sağlık, eğitim, kültür hizmetleri, spor salonu, çocuk oyun alanı, kütüphane
<i>Britannia Toplum Merkezi/ VANCOUVER</i>	68960	Su sporları, spor salonu, dış mekan sporları, farklı yaş aktivite ve eğitim alanları, çocuk bakım hizmeti, buz paten pisti
<i>Angus Glen Toplum Merkezi ve Kütüphane/MARKHAM</i>	13940	Spor salonu, su sporları, çok maksatlı salonlar, buz paten pisti, çocuk oyun alanı, kütüphane
<i>West Point Grey Toplum Merkezi/ VANCOUVER</i>	4000	Spor salonu, müzik-resim atelyesi, çocuk oyun alanı, dış mekan sporları, eğitim laboratuvarı, mevsimsel aktivite alanları, eco sanat bahçesi
<i>Oak Ridges Toplum Merkezi/ RICHMOND HILL</i>	4645	Spor salonu, su sporları, çok maksatlı salonlar, çocuk oyun alanı,

Tablo 3. Fransa'da Nüfus Büyüklüğüne Göre Sosyal Donatılar

Donatı İsmi	Nüfus (kişi)						
	3500	7000	10000	14000	18000	21000	28000
<i>Sosyal Eylem Merkezi (adet)</i>	1	1	3	4	5	6	8
<i>Gençlik Evi (adet)</i>	1	2	3	4	5	6	8

'Anne-Çocuk Evi' donatısına yasal dayanak oluşturabilecek yönetmelikler ve ekleri incelendiğinde (R. G. 2014, R. G. 2017),

genel bir başlığın birçok kullanıma olanak sağladığı ancak bu çalışmada önerilen özel tanım altındaki işlevin (anne-çocuk evi)

[§] İlgili şehirlerin resmi internet sitelerinden yararlanarak düzenlenmiştir.

** Perkins, Will, 2017 ve ilgili şehirlerin resmi internet sitelerinden yararlanarak düzenlenmiştir.

standardına ilişkin açık bir ifade olmadığı görülmektedir. Konuya açıklık getirmek üzere, Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği'nin (R.G.2014-M5i, M5j) ilgili maddeleri aşağıda verilmiştir.

'Sosyal altyapı alanları: Birey ve toplumun kültürel, sosyal ve rekreatif ihtiyaçlarının karşılanması ve sağlıklı bir çevre ile yaşam kalitelerinin artırılmasına yönelik kamu veya özel sektör tarafından yapılan eğitim, sağlık, dini, kültürel ve idari tesisler, açık ve kapalı spor tesisleri ile park, çocuk bahçesi, oyun alanı, meydan, rekreasyon alanı gibi açık ve yeşil alanlara verilen genel isimdir.'(R.G.2014-M5i),

'Sosyal tesis alanı: Sosyal yaşamın niteliğini ve düzeyini artırmak amacı ile toplumun faydalanacağı kreş, kurs, yurt, çocuk yuvası, yetiştirme yurdu, yaşlı ve engelli bakımevi, rehabilitasyon merkezi, toplum merkezi, şefkat evleri gibi fonksiyonlarda hizmet vermek üzere ayrılan kamu veya özel mülkiyetteki alanlardır' (R.G.2014-M5j). Yukardaki tanımlardan anlaşılacağı gibi; Birey ve toplumun sosyal, kültürel ihtiyaçlarının karşılanması, Sosyal yaşamın niteliği ve düzeyinin artırılması, yerleşmeler sistemindeki yasal düzenlemelerin de temelini oluşturmaktadır.

Anne-Çocuk Evi donatış alanı, Tablo 4'e göre düzenlenen Tablo 5'deki fonksiyon alanları ile kısmen örtüşmektedir.

Tablo 4. Nüfusa Göre Donatı Alanları (R. G., 2014)

		Farklı Nüfus Gruplarında Asgari Sosyal Ve Teknik Altyapı Alanlarına İlişkin Standartlar Ve Asgari Alan Büyüklükleri Tablosu ^{††}							
Nüfus Grupları		0 - 75.000		75.001- 150.000		150.001 - 500.000		501.000 +	
Altyapı Alanları		m ² / kişi	Asgari Birim Alan (m ²)	m ² / kişi	Asgari Birim Alan (m ²)	m ² / kişi	Asgari Birim Alan (m ²)	m ² / kişi	Asgari Birim Alan (m ²)
Eğitim Tesisleri Alanı	Anaokulu	0.50	1.500-3.000	0.50	1.500-3.000	0.60	1.500-3.000	0.60	2.000-4.000
	İlkokul	1,50	4.000-7.000	1,60	4.000-7.000	1,60	4.000-7.000	1,60	4.000-7.000
	Ortaokul	1,50	5.000-9.000	1,60	5.000-9.000	1,60	5.000-9.000	1,60	5.000-9.000
	Gündüzlü Lise	1,75	6.000-10.000	1,75	6.000-10.000	2.00	6.000-10.000	2.00	6.000-10.000
	Yatılı Lise		10.000-15.000		10.000-15.000		10.000-15.000		10.000-15.000
	Endüstri Meslek Lisesi, Çok Programlı Lise		10.000-25.000		10.000-25.000		10.000-25.000		10.000-25.000
	Özel Eğitim, Rehabilitasyon ve Rehberlik Merkezleri		2.000-4.000		2.000-4.000		2.000-4.000		2.000-4.000
	Halk Eğitim Merkezi Olgunlaşma Enstitüsü		3.000-5.000		3.000-5.000		3.000-5.000		3.000-5.000
Sosyal Açık Ve Yeşil Alanlar Çocuk Bahçesi, Park, Botanik Parkı, Hayvanat Bahçesi, Mesire Yeri, Rekreasyon		10		10		10		10	
Sosyal Ve Kültürel Tesisler Alanı		0,50		0,75		1.00		1,00	

Tablo 5. Anne – Çocuk Evi işlevi ile mevzuatta uyumlu donatı alanları^{##}

Eğitim Tesisleri Alanı;	Açık Ve Yeşil Alanlar;
Anaokulu, Özel Eğitim, Rehabilitasyon ve Rehberlik Merkezleri, "Halk Eğitim Merkezi Olgunlaşma Enstitüsü"	Çocuk Bahçesi, Park, Semt spor alanı, Rekreasyon

^{††} Tablonun ilk sütunundaki donatı alanı türleri kapsamında; anne-çocuk donatısı ile doğrudan bağlantılı olmayan donatı alanları da vardır ancak güncel mevzuattaki tanımlara ve bu çalışmada tanımlanan anne-çocuk evi donatı alanına tam olarak karşılık gelmediğinin anlaşılabilmesi amacı ile bağlantılı olmayan donatı alanlarına da yer verilmiştir.

^{##} Mevcut yönetmeliklerden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Yönetmeliklerden de izlenebileceği gibi, genel tanımların yanı sıra genel başlık altında yer alan işlevlerin gerekliliği ve büyüklüğüne ilişkin net bir anlatım görülmektedir. Örneğin; Eğitim tesisleri kapsamında (Tablo 4) yer alan yatılı lise, endüstri meslek lisesi, çok programlı lise, özel eğitim rehabilitasyon ve rehberlik merkezleri, halk eğitim merkezi, olgunlaşma enstitüsü için toplamda 2 M2/kişi standart değeri verilmiştir. Çalışmada önerilen içeriği ile Anne-Çocuk evi donatı alanının kısmen halk eğitim merkezleri kapsamında yer alabileceği düşünülse de halk eğitim merkezlerinin de yukarıda belirtilen bir çok kullanımdan biri olması ve halk eğitim merkezlerine atanan birden fazla sosyal kültürel aktivite bulunması nedeni ile öneri donatı alanının her durumda bu kapsamda değerlendirilmesi olanaklı görünmemekte ve zorunluluk arz etmemektedir.

Diğer bir yönetmelik (R.G.2017) sosyal ve kültürel donatılar, umumi hizmet alanı, yeşil alanlar, piknik eğlence rekreasyon alanları, sosyal mekânlar... başlıkları altında ticaret ve konut alanlarında yer alabilen çeşitli kullanışların genel tanımlamasını içermektedir. Okul gibi net tanımlı alanlar dışındaki tüm sosyal ve kültürel tesislerin, aynı standart M2 / kişi üzerinden hesaplanan alan kapsamında planlanacağı ön görülebilir. Başka bir anlatımla; örneğin 75 000 kişinin yaşadığı bir yerleşmede 0.75 M2/kişi hesabı ile ayrılacak toplam minimum 57 000 M2 sosyal kültürel tesis alanı içinde; yukarıda tanımları verilen (R.G.2014-M5i, M5j) sosyal, kültürel, açık ya da kapalı yaklaşık yirmibeş farklı donatı alanı, ayrı ayrı ya da tek olarak bulunabilecektir, ancak, donatılar için alt başlıktaki oransal değerler ve nitelik tanımlaması net değildir. Donatı alanlarının, genel tanımın yanı sıra, alt kademelerde de tanımlanabilir niteliğe sahip olması gerekir. Barınma ve çalışma alanlarında, nüfusun demografik yapısı, toplumsal eğilimi ve beklentileri, planlanacak donatı alanının türünü, önceliğini ve büyüklüğünü belirler ancak bu durum, yasal sistemde tanımlı yapılmamış bir donatının, her alt bölgede (mahallede) planlanmasında zorunluluk teşkil etmemektedir.

Anne-Çocuk Evi donatı alanı, mevzuattaki bu durumu yasal sistemde netleştirmek amacı ile ele alınmıştır.

2.6. Mahalle

Anne-Çocuk Evi, erişilebilirlik kriterleri doğrultusunda, mahalle alt bölgesinde ele alınması önerilen bir donatı alanıdır. Kentsel alan bütünü oluşturulan mahallelerdeki yaşam kalitesi, kente de aynı doğrultuda yansımaktadır. Donatı alanı yeterliliği, yaşam kalitesinin değerlendirme ölçütleri arasındadır. Oyun için mahalle ölçeğinde yeterli alanlar sağlanması, toplum ve bireyin sağlıklı yaşamı (Tuna, 2021) için gereksinim duyulan donatı alanları arasındadır. Mahalle ölçeğinde, yukarıda adı geçen yönetmeliklerde ana başlıklarda genel anlamda tanımlanan donatıların uygulama kademesindeki niteliği ve hesaplanacağı büyüklük konusunda net bir ifadeye ihtiyaç vardır.

Kentlerdeki en küçük yerel birim, kentin en küçük idari ünitesi olarak tanımlanabilecek mahalle (Suri, 2002) fiziksel ve sosyal bir alt bölgedir. Belediye Kanunu mahalleyi; 'belediye sınırları içinde, ihtiyaç ve öncelikleri benzer özellikler gösteren ve sakinleri arasında komşuluk ilişkisi bulunan idarî birim' olarak belirtmiştir (R.G. 2005). Aynı Kanunun 9. Maddesinde; '...muhtar, mahalle sakinlerinin gönüllü katılımıyla ortak ihtiyaçları belirlemek, mahallenin yaşam kalitesini geliştirmek, belediye ve diğer kamu kurum ve kuruluşlarıyla ilişkilerini yürütmek, mahalle ile ilgili konularda görüş bildirmek, diğer kurumlarla işbirliği yapmak ve kanunlarla verilen diğer görevleri

yapmakla yükümlüdür...' ifadesi yer almaktadır. Mahalle sakinlerinin ortak taleplerinin karşılanmasının yasa ile güvence altına alınması Anne-Çocuk evi donatı alanı için de dayanak oluşturacak niteliktedir. Mahallenin gerek idari gerekse sosyal sınırları, fiziki doku yanısıra, nüfusun yapısı ve büyüklüğü ile doğrudan bağlantılıdır. Yerleşmelerin sosyal, kültürel, fiziksel ve idari yapılarında önemli yere sahip mahalle kavramı geniş kapsamlıdır. Bu çalışmada, mahalle, sosyal ve fiziksel erişilebilirliği ve donatıları açısından irdelenmiştir. Mahalleler günlük ve haftalık ihtiyaçların yürüme mesafesinde karşılanabildiği alt bölgelerdir. Mahalle kaynaklarda 'komşuluk birimi' olarak da tanımlanabilmektedir (Çabuk, 2003, Çetiner, 1991).

Mahalle fiziki sınırlarını belirleyen unsurlar, özetle aşağıda verilmiştir;

- Sınırlar, genel olarak ilkököl donatı alanı referansına göre tanımlanmaktadır. İlkokula yürüme mesafeleri genel mahalle sınırı hakkında fikir verir. İlkokul diğer fonksiyon alanlarının yer seçiminde de belirleyici unsurdur.

- Yürüme mesafesi farklı ifade edilebilmektedir. Yürüme mesafesi kaynaklarda; alt komşuluk grubu içindeki oyun alanına 2-3 dakika, mahalle parkına 10 dakika ölçüsü ile belirlenmiştir (Freidberg, 1982, Uysal, 2015). Çetiner'e göre, çocuk bahçesi 400-800 m., anaokulu 400 m. mesafede olmalıdır (Çetiner, 1991). Yürüme mesafesi çocuğun yaş grubuna göre, okul öncesinde ebeveyniyle, ilkököl çağında ise kendisinin yorulmadan, güvenle ulaşabileceği ölçüde olmalıdır.

- İlkokul merkezli erişim düşünüldüğünde mahalle sınırlarının genel bakışla 10 dakikada yürünebilecek, kuş bakışı 800 m. yarıçaplı alanı kapsadığı söylenilebilir.

- Alanın fiziki dokusu, eğitim ve engebeleri, yürüme mesafesinde dikkate alınır.

- Yapay ve doğal eşikler mahalle erişiminde ve sınırlarının belirlenmesinde önem arz eder.

- Çetiner , ilkököl temel alan yaklaşımla 3500-7000 kişilik bir mahalle birimi tanımlı yapmıştır (Çetiner, 1971).

2.7. Mahallede Donatı Alanları

Mahallede günlük ve haftalık ihtiyaçlara göre belirlenen donatı alanlarını Çetiner, genel olarak iskân alanları, okullar, açık sahalar-oyun yerleri, küçük bir alışveriş merkezi, toplantı yeri ve umumi tesisler, gerekli ulaşım alanları (Çetiner, 1971), şeklinde tanımlamıştır.

İlkokul yerleşme biriminde olması gereken donatı alanları;

- Eğitim Yapıları (ilkokul, anaokulu, kreş)
- Sosyal Yapılar (mediko-sosyal merkez)
- İdari Yapılar (muhtarlık, karakol, PTT, yangın söndürme birimi)
- Ticari Yapılar (günlük gereksinimleri karşılayabilecek 15-20 dükkân)
- Dinlenme ve Eğlence Alanları (oyun alanları, çocuk bahçesi, park, sinema vd.) olarak özetlenmektedir (Osmanlı, 2012).

Mahalledeki sosyal ve kültürel donatı alanları erişilebilirliğe göre konumlanmaktadır. Buna göre; mahalle merkezi; alışveriş birimlerinin, sosyal kültürel yapıların, eğitim tesislerinin, idari

tesislerin, rekreasyon alanlarının, sağlık tesislerinin bulunduğu bir alandır. Öneri Anne-Çocuk Evi donatısının da mahalle merkezinde bulunması, erişilebilirlik yaklaşımı ile doğru bir seçim olacaktır. Mahalle merkezleri çalışma saatleri dışında da canlılığını sürdüren güvenli bölgeler olmalıdır. Bu nedenle merkezde konut diğer donatı alanları birlikte bulunmalıdır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmaya konu olan 'Anne-Çocuk Evi' donatı alanı, aşağıda niteliği belirtilen kategorinin ihtiyacını karşılamak üzere önerilmektedir;

- Okul öncesi yaş grubu
- 6-14 yaş grubu okul öğrencileri
- Okul öncesi yaş grubuna refakat eden ebeveyn
- Sadece eğitim amacıyla gelen kayıtlı mahalle sakini

3.1. Anne-Çocuk Evi Donatı Alanı tanımı

Yukarıda belirtilen ihtiyaçlar ve yasal dayanaklar çerçevesinde, literatüre ve yönetmeliğe (mevzuata) girmek üzere;

Anne-Çocuk Evi donatı alanı; "mahalle biriminde, 0-14 yaş grubunun oyun, rekreasyon, okul sonrası etüd, kütüphane, kısa süreli çocuk bakımı... gibi gereksinimlerini karşılayan ve yetişkin bireylerin seminer, kurs alabileceği birkaç derslikten oluşan, kapalı alanı (TAKS) tabanda maks. 0.20 olan ve yukarıda belirtilen açık ve kapalı kamusal alanların tümünün birarada olduğu alana verilen isimdir" şeklinde tanımlanabilir. Tanımın devamında -aynı literatürde yer almak üzere- özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Oyun alanı hem açık hem de kapalı alanda bulunacak, kapalı alan dış hava koşullarının elverişli olmadığı dönemlerde de oyun ihtiyacını karşılayacaktır.
- Oyun alanı düzenlemesi 0-2, 2-6, 6-14 yaş grubu için üç kategoride ele alınacaktır.
- Okul öncesi çocuğa refakat eden ebeveyn çocuğu ile birlikte iç mekânda herhangi bir bedel ödmeden uzun süre kalabilecektir. Talep etmesi halinde düşük bir ücretle 2-3 saat kreşte bakım hizmetinden yararlanabilecektir.
- Mahallede bulunan erişkinler genellikle de kadınlar, çocuk eğitimi, sosyal ilişkiler ve ihtiyaçları konusunda, talepleri dahilinde seminer alabilecek, bilgi ve becerilerini geliştirecek kurslara katılabilecektir.
- Böylelikle özellikle erken çocukluk dönemindeki çocuklar ve ebeveyni sosyal hayattan soyutlanmadan kendini ifade edebileceklerdir.
- İlkokul ve ortaokul çağı öğrencileri okul sonrası Anne-Çocuk evine gelebileceklerdir. Bu şekilde; denetimli, güvenli bir ortamda, oyun, dinlenme, etüd yapma ve kütüphaneden yararlanma olanağından yararlanabileceklerdir. Bu durum, özellikle de, belirtilen yaş grubundaki, ebeveyni çalışan çocuk ve evde bulunmayan ebeveynin psikolojisi için yarar sağlayacaktır.

• Seminerler, kayıt yaptırmak koşulu ile ücretsizdir. Kurs, kısa süreli çocuk bakımı ve okul çağı çocukların okul sonrası kapalı mekândan yararlanması kayıt ve yerel idarenin oluşturacağı fona aktaracağı düşük ücrete tabi olacaktır. Ödeme gücüne sahip olmayan kullanıcının talebi, yasa çerçevesinde yerel idare tarafından karşılanacaktır. Düşük ücretli kayıt sistemi, tesisin sistemli ve denetimli kullanılması amacı ile önerilmiştir.

• Anne-Çocuk Evi donatı alanı, kamu mülkiyetinde ve yerel idare sorumluluğundadır. Kapalı ve açık mekânların bakımını, kontrolünü, kapalı mekânda bulunacak çocukların denetimini sağlayacak personel, yerel idare tarafından atanacaktır. Kurs ve diğer hizmetler karşılığı elde edilen gelir ise gene donatıya konu olan mekânın giderlerine katkı sağlamak için kullanılacaktır.

3.1.1. Anne-Çocuk Evi Donatı Alanı Büyüklüğü Kriterleri

Yukarıda genel çerçevesi belirtilen özellikler, Anne-Çocuk Evinin kullanıcı kimliğini, ihtiyaçlarını ve dolayısı ile alan büyüklüklerini hesaplamaya yardımcı olacaktır. Önerilen donatı alanı açık ve kapalı oyun alanının yanı sıra, dinlenme, etüd, kütüphane, seminer-kurs mekânı, küçük idari ofis, çocuk wc, yetişkin wc, hizmetli odası, depo, teknik oda gibi fonksiyonlar içermektedir. Anne-Çocuk Evi Donatısına olan gereksinim ve amacı doğrultusunda gerçekleştirilmesi için, tanımda ve yukarıda belirtilen tüm fonksiyonlara yer verilecek, böylelikle amacı dışında kullanımı önlenecektir.

Çocuk bahçesi^{§§} büyüklüklerine ilişkin farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Örneğin, Avustralya'da 5000 kişinin yaşadığı bir mahalle için önerilen oyun alanı 14.000 m², 2.8 m²/kişi'dir. Fransa'da çocuk başına 5 m² alınırken, bu değer İngiltere'de 24 m²'dir (An, 1998, Şişman, Özyavuz, 2010). Yılmaz ve Bulut'a göre; oyun alanı min 250 m², çocuk başına 6.5 m² hesabı ile ele alınmalıdır (Yılmaz, Bulut 2003). Oyun alanının, ihtiyaç doğrultusunda, 500-1000 m² olması tavsiye edilmektedir (Özcan, 2004). Genellikle, bir mahalledeki çocukların 1/3'ünün aynı anda oyun yerinde olacağı düşünülmeli ve alan ölçüsü buna göre belirlenmelidir (Şişman, Özyavuz, 2010). Milli Eğitim Bakanlığı kılavuzunda oyun ve etkinlik alanı için, 2.40 m²/kişi standart değeri verilmiştir (MEB, 2015).

Bu çalışma ile önerilen Anne-Çocuk Evinin alansal büyüklüğü nüfusa göre belirlenmiştir. Demografik yapı bağlamında, Anne-Çocuk Evi kapsamındaki hizmetlere ilişkin farklı talepler gelebilir ancak talepler; sadece seminer ve kursların dönemsel programlarına yansıtılmalıdır. Anne-Çocuk evi kapsamındaki işlev alanlarının; farklı taleplere göre değişiklik yapılmadan uygulamaya geçmesi gerektiği, yönetmeliğe bağlanmalıdır.

Anne-Çocuk Evi donatısı hesabı; fiziksel yaklaşımla, yürüme mesafesi ile belirlenen 800 m yarıçaplı alan ve sosyo kültürel olarak tanış olma kriteri ile belirlenen 5000 kişinin bulunduğu varsayılan bir mahalle kademesine göre yapılmıştır. Türkiye'de farklı demografik yapıya sahip birkaç ilin resmi nüfus bilgileri incelenmiş ancak toplam nüfus ortalama değerlerinden önemli sapma olmadığı saptanmıştır. Türkiye Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nden (ADNKS) alınan nüfus gruplarının toplam nüfus içindeki oranları belirlenmiş, Ülke genelinde uygulanan mevzuata

^{§§} Çocuk bahçesi ifadesi, hem açık, hem de kapalı mekândaki oyun alanı için kullanılmıştır.

girmesi hedefi ile, elde edilen oranlar (Tablo 6), alt bölgeye yansıtılarak donatı alanı hesabı yapılmıştır. Çocuk kullanıcı sayısı belirlenirken, okul öncesi 0-6 yaş kabul edilmesine rağmen resmi nüfus değerlerinde 0-6 yaş ayrıştırması hesaplanmadığından, resmi verilerdeki 0-4, 5-9, 10-14 yaş grupları aralıkları kullanılmıştır.

Tablo 6. Türkiye’de çocuk nüfusunun yaş gruplarına göre dağılımı (TUIK, 2018)

Yaş grubu	Nüfus	Toplam mahalle nüfusu içinde %
Mahalle toplam nüfus	82003882	
0-4	6484986	7,91%
5-9	6358920	7,75%
10-14	6340423	7,73%
0-14 toplam	19184329	23,39%

Tablo 7. Öneri mahalle alt bölgesinde çocuk nüfusunun yaş gruplarına göre dağılımı ***

Yaş grubu	Nüfus	Toplam mahalle nüfusu içinde %
Mahalle toplam nüfus	5000	
0-4	395	7,91%
5-9	388	7,75%
10-14	387	7,73%
0-14 toplam	1170	23,39%

Tablo 8. Türkiye’de 20-70 yaş kadın nüfusunun yaş gruplarına göre dağılımı (TUIK, 2018)

Yaş grubu	Nüfus	Toplam Türkiye nüfusu içinde %
Türkiye toplam nüfus	82003882	
20-24	3199832	3,90%
25-29	3086446	3,76%
30-34	3127948	3,81%
35-39	3259469	3,97%
40-44	2892697	3,53%
45-49	2640524	3,22%
50-54	2329142	2,84%
55-59	2095459	2,56%
60-64	1753731	2,14%
65-69	1366228	1,67%
20-69 toplam	25751476	31,40%
0-14 toplam	19184329	23,39%

*** Tablo 6 oranlarına göre düzenlenmiştir.

††† Tablo 8 oranlarına göre düzenlenmiştir.

††† 0-4 yaş ebeveyn denetiminde, 5-9 yaş okul çağında, kısmen ebeveyn denetiminde, 10-14 yaş okul çağında, ortalama, haftada e-ISSN: 2148-2683

Tablo 9. Öneri mahalle alt bölgesinde 20-70 yaş kadın nüfusunun yaş gruplarına göre dağılımı †††

Yaş grubu	Nüfus	Toplam mahalle nüfusu içinde %
Mahalle toplam nüfus	5000	
20-24	195	3,90%
25-29	188	3,76%
30-34	191	3,81%
35-39	199	3,97%
40-44	176	3,53%
45-49	161	3,22%
50-54	142	2,84%
55-59	128	2,56%
60-64	107	2,14%
65-69	83	1,67%
20-69 toplam	1570	31,40%

Yetişkin kullanıcı sayısı ile ilgili hesaplara dayanak oluşturmak üzere, Anne-Çocuk Evi donatısının kullanıcıları olması hedeflenen, çocuk nüfusu dışında, 20-69 yaş aralıklarındaki kadın nüfusu oranları (Tablo 7) esas alınmıştır.

3.1.2. Kapalı Mekân Donatı Büyüklüğü

Erken çocukluk dönemindeki 0-4, 0-6 yaş grubu ve sorumluluğu üstlenen ebeveyni (genellikle %72 oranında anne (AÇEV, 2017) öneri Anne-Çocuk Evi donatı alanının en önemli hedef kitesidir. Bu nedenle kapalı mekândaki çocuk oyun alanı hesaplanırken, belirtilen yaş grubu değerlerine göre farklı yaklaşımlar getirilmiştir. Yaklaşımların ortak paydası niteliğinde, kapalı mekânda aynı anda 100 çocuğun bulunabileceği öngörülmüştür†††. Adı geçen oyun alanı, mimari projede, zemin katta yer alacaktır. Buna göre hesaplanan değerler Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Öneri Anne-Çocuk Evi donatı alanı, alternatif standartlara göre, kapalı mekân oyun alanı büyüklüğü hesabı††††

Çocuk sayısı 100 kişi	
Standart değer m2/çocuk	Kapalı oyun alanı m2
2.4 (MEB, 2015)	240
5 (Şişman, Özyavuz, 2010)	500
6.5 (Yılmaz, Bulut, 2003)	650

Kapalı mekândaki oyun alanının, farklı standartlara göre (100 çocuk için) 240-650 m2 aralığında olduğu görülmektedir (Tablo 10) ancak hesaplarda en yüksek değer olan 650 m2 esas alınmıştır.

Zemin katta; kapalı oyun alanı yanısıra yer alabilecek diğer fonksiyonlar örnek olarak, Tablo 11’den izlenebilir.

2-3 gün ve 2-3 saat süreyle, donatıyı (kapalı alanı) kullanabileceği öngörülmüştür.

†††† Mevzuat ve literatürdeki farklı standart değerlere göre düzenlenmiştir.

Tablo 11. Zemin kat kapalı mekân fonksiyonları alanı büyüklüğü (ort.)****

Zemin kat fonksiyon alanları	Birim adet	Brüt m2
Oyun alanı		650
Bebek bakım odası	2	25
Çocuk wc (kız, erkek)	6	20
Gözetmen	1	10
Güvenlik	1-2	3-5
Sağlık odası	1	15
Mutfak nişi	1	15
Depo+teknik oda	1	10
Yatay-Düşey sirkülasyon		40
Toplam yaklaşık		800

Zemin kattaki oyun alanı, daha çok, ebeveyn refakatindeki çocukların kullanımındadır. Gözetmenler, kısa süreli çocuk bakım hizmeti verebileceklerdir. Güvenlik, binanın giriş yapılan kapılarından sorumludur.

Birinci katta 6-14 yaş grubu çocukların, ebeveyn ve kurs/seminer almak isteyen mahalle sakininin (hedef kitle kadın) aktivite alanları bulunmaktadır.

Tablo 12. Birinci kat kapalı mekân fonksiyonları alanı büyüklüğü (ort.)****

Birinci kat fonksiyon alanları	Birim adet	Brüt m2
Kurs/seminer odaları	5	150
İdareci odaları	2	20
Öğretmen odası	1	20
Kütüphane	1	50
Etüd	1-2	70
Çocuk aktivite alanı	1	390
wc (k-e)	10	30
Mutfak nişi	1	15
Depo+teknik oda	1	15
Düşey sirkülasyon		40
Toplam		800

Tablo 11 ve 12'de yer alan değerler, tefrişli etüdler ve kısmen de MEB kılavuzundan (MEB, 2015) yararlanarak hazırlanan örnek ortalama büyüklüklerdir. Tablo 12'deki derslik sayıları; 20-69 yaş grubunun (Tablo 9), haftada bir ya da iki kez iki saat, maksimum 20 kişi ile sınırlandırılan programlarda eğitim ve aktivite yapmasına olanak sağlayabilecek yeterliliktedir ancak

kuşkusuz, mahalle sakinlerinin talepleri doğrultusunda projelendirilecektir.

3.1.3. Plana Esas Donatı Alanı Büyüklüğü Hesabı

Açık mekân donatı alanı, farklı varsayımlarla hesaplanmıştır. İlk olarak, mahallede yaşayan 0-14 yaş grubu 1170 çocuğun (Tablo 7) üçte birinin, aynı anda oyun alanında olacağı (Şişman, Özyavuz, 2010) düşünülmüş, 6.5 m²/çocuk hesabı ile 2535 m² değeri bulunmuştur. Oyun alanına ilave olmak üzere; kapalı mekânın boyutları,**** yoldan ve komşudan çekme payları**** dikkate alındığında yaklaşık 4500 m² parsel alanına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu durumda; mevzuata eklenecek öneri Anne-Çocuk Evi donatı alanı standardı; 3.9 m²/0-14 yaş grubu çocuk**** ya da 0.9 m²/kişi,**** TAKS:0.20 , KAKS:0.40 (ya da TAKS:0.20, kat adedi iki) olarak kabul edilebilir.

Yerleşik alanlarda kamuya ait 4500 m² parsel bulunması her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle farklı bir seçenek irdelenmiştir. MEB kaynaklarındaki (MEB, 2015) orana göre; kapalı alan ve fonksiyonları değiştirmek kaydı ile 1.6 m²/0-14 yaş grubu çocuk**** ya da 0.36 m²/kişi,**** TAKS:0.46-0.50, parsel büyüklüğü min 1800 m² şeklinde hesaplanabilir. İkinci seçenekte, kapalı alandaki hizmetlerde değişiklik olmayacak ancak açık alanda tüm mahalle çocuklarının hizmetinde olan oyun alanındaki çocuk yoğunluğu artacaktır. Başka bir anlatımla açık mekândaki oyun alanı kullanımı %72***** azalacaktır ancak buna rağmen, MEB kılavuzunda belirlenen orana göre (Tablo 10), oyun alanı büyüklüğü sağlanmaktadır.

3.1.4. Öneri Donatı Alanının Mevzuat ve İmar Planlarında İfadelenilmesi

Kentsel donatı alanı standartlarını içeren mevzuata eklenmek üzere iki seçenekli standart önerilmiştir. Ancak; Anne-Çocuk Evi Donatı alanının önemi ve gerekliliğinin açıklandığı 2.1 başlığında anlatılan nedenlerle, öneri kapalı alan kullanımı kapsamındaki fonksiyon alanları ve büyüklüğü her iki seçenekte de korunacak, mevzuatta iki seçeneğin anlam karışıklığını önlemek amacıyla; çocuk nüfusundan (0-14 yaş grubu) hareketle m²/çocuk, mahalle nüfusundan hareketle m²/kişi oranları, TAKS ve KAKS (ya da kat adedi) minimum parsel alanı ve minimum bina taban alanı birlikte verilecektir.

Anne-Çocuk Evi donatı alanı standardı, güncel mevzuattaki tüm kamusal kentsel standartlar dışında, ek olarak önerilmektedir. Başka bir ifadeyle; mahalle nüfusu, Anne-Çocuk Evi dışında, sosyal kültürel, rekreatif tüm tesislerden yararlanabileceklerdir.

İmar planında; Tablo 13'de verilen TAKS ve KAKS oranları, yoldan ve komşu parsellerden çekme mesafeleri ve parsel alanının yanısıra; min taban alanı 800 m², blok nizam, iki kat şeklinde ifadelendirilmelidir.

**** Tablodaki fonksiyon alanları büyüklüğü, ilgili standartlar ve örnek tefriş sonuçlarına göre elde edilen ortalama değerlerdir.

**** Tablodaki fonksiyon alanları büyüklüğü, ilgili standartlar ve örnek tefriş sonuçlarına göre elde edilen ortalama değerlerdir.

**** Hesaplanan 800 m² yapının tasarımına göre, parsel kenar oranları da değişebilir.

**** Çevre koşullarından izole olabilmesi amacı ile 10m çekme payı bırakılmasında yarar görülmektedir.

**** 4500/1170=3.9 M²/0-14 yaş grubu çocuk

**** 4500/5000=0.9 M²/kişi

**** 1800/1170=1.6 M²/0-14 yaş grubu çocuk

**** 1800/5000=0,36 M²/kişi

**** 1.seçenek; (4500-800)/(1170/3)=9.5 m²/çocuk 2.seçenek;

(1800-800)/(1170/3)=2.6 m²/çocuk

(9.5-2.6)/9.5=0.72

Seçeneklere göre; “Anne-Çocuk Evi” lejantındaki parselin açık kısmında yer alan çocuk oyun alanı kamusaldır ve mahalle sakinleri tarafından günün her saatinde kullanılabilir.

Min 800 m2 olan kapalı alanın zemin katı çocukların farklı yaş grupları için tasarlanmış, kapalı oyun alanıdır. Mimari projede, zemin katta oyun alanı dışında sadece üst kata bağlantı sağlayan sirkülasyon elemanı (merdiven, rampa, asansör vb.) ve Tablo 11 ile belirlenen fonksiyonlar bulunacaktır. Zemin kattaki oyun alanı, daha çok okul öncesi çocukların ebeveyni ile, kayıta tabi olmadan ücretsiz olarak kullanımına açıktır. Aynı alan, ebeveyni yanında bulunmayan üst yaş grubundaki çocukların kayıtlı olarak kullanabileceği kontrollü mekânlardır. Üst yaş çocukların öncelikle birinci kattaki oyun alanını kullanmaları

tercih edilecektir. Birinci kattaki; etüd odası, kütüphane de, okul sonrası üst yaş gruplarının ihtiyaçlarını karşılamak üzere kurgulanmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, seminer kayıtlı ancak ücretsiz, seminer haricinde; yetişkinler için kurs, kısa süreli çocuk bakımı ve okul çağı çocukların ebeveyni olmadan kapalı mekândan yararlanması kayıtlı olacak ve kamu tarafından da finanse edilen düşük ücrete tabii olacaktır. Ücretler, yerel idarenin anne çocuk evini kullanacak kitlenin ödeme gücünü aşmayacak, ekonomik düzeyine göre belirlenen ölçülerde tutulacaktır. Ödeme gücü bulunmayan aileler ise yerel idarelerin yasalarla belirli sorumlulukları nedeni ile ücretsiz hizmet alabileceklerdir. Oyun alanı dışındaki fonksiyonlar üst katta yer alacak, imar planı, proje ve uygulamada bedensel engellilerin de tüm alana erişimine ve tesisi kullanabilmelerine olanak sağlanacaktır.

Tablo 13. Mevzuata eklenecek Anne-Çocuk Evi donatı alanı standardı^{†††††}

1	2 (1. Alternatif)	3 (2. Alternatif)	4	5	6	7
Anne-Çocuk Evi	M2/çocuk	M2/kişi	TAKS	KAKS	Yol- komşu bahçe çekme payı min. m.	Parsel alanı m2
1. Seçenek Kapalı alan taban alanı min 800 m2	3.9	0.9	0.20	0.40	10-10	4500
			0.20	Kat adedi 2		
2. Seçenek Kapalı alan taban alanı min 800 m2	1.5	0.35	0.45-0.50	Kat adedi 2	5-5	1800

4. Sonuç

Mevcut mevzuatta net tanımı olmayan Anne-Çocuk Evi donatı alanının tanımlanması amacı ile bu çalışma yapılmıştır. Kadınlar nüfusun yarısını oluşturmaktadır. Bebek sahibi olmasını takip eden yıllarda, hem çocuk hem de anne için hareket yeteneği kısıtlıdır. Sağlıklı, becerikli, üretken bireyler yetiştirmesi annenin kendini geliştirme ve yeterli sosyalleşme ortamının sağlanması ile doğru orantılıdır. Yeni geliştirilen bu donatı alanı, Kalkınma Planlarının, önceki başlıklarda belirtilen maddelerinde açıklanan kararlarından da dayanak almıştır. Geliştirilen donatı alanı, okul öncesi çocukların, ebeveynlerinin, ebeveyni çalışan ve okul dönüşü desteğe ihtiyaç duyan çocuk grubunun ve kendisini geliştirmek isteyen bireylerin tüm aktiviteleri birarada gerçekleştirebileceği niteliktedir.

Anne-Çocuk Evi donatı alanının, imar planlarında mahalle merkezinde kurgulanan ilkökul donatı alanı ile yakın ya da bitişik konumlanması hedeflenmelidir. Böylelikle ilkökulla işlev bütünlüğü ve fiziki erişim kolaylığı sağlanacaktır. Tesisin kuruluş, bakım, onarım ve devamlılığının sağlanması belediye sorumluluğunda olacaktır. Açık mekan oyun alanı ve ebeveynin gözetiminde kapalı mekan oyun alanı ücretsiz kullanılacaktır. Seminerler de ücretsiz olmakla birlikte kayıt yaptırılması gerekmektedir ancak kullanıcıların; kurs, kreş, çocuk bakımı gibi hizmet talebi ve çocukların kapalı mekânı kullanımı düşük ücrete tabi olacaktır. Alınan ücret bir taraftan işletme maliyetine destek olacak diğer taraftan donatının, amacı dışında kullanılmasına engel oluşturacaktır.

Anne-Çocuk Evi donatı alanı yerel ölçekte Kalkınma Planındaki; üretken ve mutlu bireylerin yetişmesi, vatandaşın

yaşam kalitesi ve süresinin yükseltilmesi ile ekonomik, sosyal ve kültürel hayata bilinçli, aktif ve sağlıklı bir şekilde katılımlarının sağlanmasını, kadınların sosyal, kültürel ve ekonomik yaşamdaki rolünün güçlendirilmesini, çocukların üstün yararı gözetilerek iyi olma hallerinin desteklenmesini, potansiyellerini geliştirmeye ve gerçekleştirmeye yönelik fırsat ve imkânların artırılmasını, başta eğitim, sağlık, adalet ve sosyal hizmetler olmak üzere temel kamu hizmetlerine erişimlerinin artırılmasını sağlama amacına uygundur. Ayrıca; Belediye Kanunu'ndaki M. 13 "...Herkes ikâmet ettiği beldenin hemşehrisidir. Hemşehrilerin, belediye karar ve hizmetlerine katılma, belediye faaliyetleri hakkında bilgilenme ve belediye idaresinin yardımlarından yararlanma hakları vardır. Yardımların insan onurunu zedelemeyecek koşullarda sunulması zorunludur. Belediye, hemşehriler arasında sosyal ve kültürel ilişkilerin geliştirilmesi ve kültürel değerlerin korunması konusunda gerekli çalışmaları yapar...", M 14 a "... Belediye'nin görev ve sorumlulukları... park ve yeşil alanlar... sosyal hizmet ... beceri kazandırma ... hizmetlerini yapar veya yaptırır..., nüfusu 100.000'in üzerindeki belediyeler, kadınlar ve çocuklar için konukevleri açmak zorundadır. Diğer belediyeler de mali durumları ve hizmet önceliklerini değerlendirerek kadınlar ve çocuklar için konukevleri açabilirler", M 14 b "... Devlete ait her derecedeki okul binalarının inşaatı ile bakım ve onarımını yapabilir veya yaptırabilir, her türlü araç, gereç ve malzeme ihtiyaçlarını karşılayabilir ..." şeklinde özetlenebilecek yasal dayanaklara göre, bu çalışma ile önerilen Anne-Çocuk Evi donatı mevcut alanı, yasal sisteme kolaylıkla uyarlanabilir ve uygulanabilir niteliktedir,

etmektedir. Donatı büyüklüğü; 2. ve 3. Sütundaki oranlara göre alternatifli olarak hesaplanabilecektir.

††††† 2. Sütundaki “çocuk” plan alanındaki 0-14 yaş grubu çocuk nüfusunu, 3. Sütundaki “kişi” plan alanı toplam nüfusu ifade e-ISSN: 2148-2683

Mevzuata göre, anne-çocuk evi donatı alanı sorumluluğu Belediye Kanunu uyarınca belediyeler tarafından üstlenilebilecek yapıdadır.

Bu çalışma ile Anne-Çocuk Evi donatı standardı hesaplanmaya çalışılmıştır. Deneme amacı ile sadece 5000 kişi mahalle nüfusu ve TÜİK 2018 yılı nüfus grupları oranı kullanılmıştır. Anne-Çocuk Evi donatı alanının tartışmaya açılması, tanımı, içeriği ve gerekçelerinin farklı disiplinlerce değerlendirilmesi araştırmaya yeni boyutlar kazandıracaktır.

Kaynakça

- AÇEV, (2017), Türkiye’de Erken Çocukluk Bakımı ve Okul Öncesi Eğitime Katılım Raporu, MYRA, 1 Kasım 2017, İstanbul
- Aksu, G.A.; Küçük, N., (2018), Evaluation of urban topography–biotope–population density relations for Istanbul–Beşiktaş urban landscape using AHP. Environment, Development and Sustainability, <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0217-9>
- Aksoylu,S., Uyguçgil, H., Altan, M., Tural,O., (1996), Coğrafi Bilgi Sistemlerini Kullanılarak Sosyal Donatı Alanlarının Sınanması, Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, İstanbul, 195-201
- Anonim, 1998. Kentsel Plânlama Standart Araştırması, T.C.Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Yayınları, Ankara, s:193-236
- Belediye Kanunu, (2005), Kanun Numarası : 5393, Resmi Gazete Tarihi: 13.07.2005, Sayısı: 25874
- BM, (1989), Birleşmiş Milletler Çocuk Hakları Sözleşmesi M. 31 (United Nations, 1989, United Nations Convention on the Rights of the Child, Article 31), https://www.unicef.org/crc/files/Rights_overview.pdf
- Çabuk, S., (2003), İstanbul’da Eğitim Donatılarının Planlanmasına ve Uygulanmasına Yönelik Model Araştırması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,47-62,260-274
- Çetiner, A., (1991), Şehircilik Çalışmalarında Donatım İlkeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Baskı Atölyesi, İstanbul, s. 18
- Çetiner, A., (1971), Şehircilik Çalışmalarında Donatım İlkeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Demirbaşı No:4335, İ.T.Ü Baskı Atölyesi, İstanbul, 31, 33
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Teşkilatı Kuruluş ve Yetkilerini Belirleyen 644 sayılı KHK, (2011), Resmi Gazete Tarihi: 04.07.2011, Sayısı: 27984
- Erkan, N., Yenen, Z. (2010) “Yerleşmelerde İmaj Analizi Konusunda Bir Yöntem: Kastamonu Örneği”, Megaron, YTÜ, Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:5, Sayı:2, s.70
- Ersoy, M., (2015), Kentsel Planlamada Standartlar, Ninova Yayınları, İstanbul, s.209
- Friedberg, M.P., (1982), “Juvenile Play Areas”, (Ed. Alpern, A.), Handbook of Speciality Elements in Architecture, Chapter Seven, Mcgraw-Hill Book Company,
- Güngörmüş, O., (1995) Ana-Baba Okulu, İstanbul: Remzi Kitabevi. S.23
- Heseltine, P., Holborn, J.,(1987), “Playgrounds”, The Planning, Design and Construction of Play Environments, Mitchell, London, s.11
- İmar Kanunu, (1985), Kanun Numarası : 3194, Resmi Gazete Tarihi: 09.05.1985, Sayısı: 18749
- MEB, (2015), Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu, MEB, İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığı, 2015, s. 63, <http://iedb.meb.gov.tr/www/egitim-yapilari-asgari-tasarim-standartlari-kilavuzu-2015/icerik/298>,
- Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği, (2014), Yönetmelik Numarası : 29030, Resmi Gazete Tarihi: 14.06.2014, Sayısı: 29030 M 5i, M 5j
- Muhacir, E. S., Özalp, A., (2016), Planlama ve tasarım süreçleri bağlamında çocuk oyun alanlarına ilişkin temel kalite kriterlerinin belirlenmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Cilt:17, Sayı:2, Sayfa:220-230, <http://edergi.artvin.edu.tr>
- Moore R.C., (2017), Childhood's Domain: Play and Place in Child Development. Routledge, Taylor and Francis Group, London and New York, s.13
- Osmanlı, N., (2012), İlköğretim Okulu Donatı Erişilebilirliğinin Coğrafi Bilgi Sistemi Platformunda Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı Selçuk Üniversitesi, 2012, s.13
- Öztan, Y., (2004) Yaşadığımız Çevre ve Peyzaj Mimarlığı, Tisimat Basım San., Ankara, s.252
- Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, (2017), Yönetmelik Numarası : 30113, Resmi Gazete Tarihi: 03.07.2017, Sayısı: 30113
- Perkins, Will, (2017), Community Centres, Enhancing wellness in our everyday lives (https://issuu.com/perkinswill/docs/perkins_will_community_centers)
- Suri, L., (2002), “Mahalle-Belediye Bağlamında İstanbul ve Pendik”, İstanbul Dergisi, Sayı 40, s. 53
- Şişman, E., Özyavuz, M., 2010, Çocuk Oyun Alanlarının Dağılımı ve Kullanım Yeterliliği:Tekirdağ Örneği, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi / 2010 / 7.Cilt 1.Sayı, s.13, 14
- Tekiner, Ö., (1996), Okul öncesi Eğitiminin Önemi ve Çocuğa Kazandırdıkları, Milli Eğitim Dergisi 132 sy 10
- Uysal, A. B., (2015), Çocuk Oyun Alanlarının Geliştirilmesinde Bir Yerel Katılım Deneyimi, Megaron 2015;10(3):423-439DOI: 10.5505/Megaron.2015.53215
- Tuna, A (2021), İngiltere’de Yeşil Altyapı Kavramının Uygulama Örnekleri Üzerinden İrdelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 416-423.
- Westhead, E., 2016, Mothers` Guide to Returning to Work: What to Expect Upon Returning to Work. (Working Mother Book 1), www.amazon.com/dp/B01KW1131O ref=pe 2427780 160035660, s. 4
- Westhead, E., 2017, Dedicated Safe Spaces for Mothers and Kids, productlady.com
- Yılmaz, S. ve Bulut, Z., (2003), Kentsel Mekanlarda Çocuk Oyun Alanlarının Yeri ve Önemi: Erzurum Örneği, Milli Eğitim Dergisi, s. 43, 158
10. Kalkınma Planı, (2013), Resmi Gazete Tarihi: 06.07.2013., Sayısı: 2869
11. Kalkınma Planı, (2019), Resmi Gazete Tarihi: 23.07.2019., Sayısı: 30840 Mükerrer



Tabaka İle Örtülü Yarı Düzlemdeki Yüzey Dalgalarına Tabaka Kalınlığı ve Ön Gerilmelerin Etkisinin Tam Temas Koşulları Altında İncelenmesi

Müslüm Özışık^{1*}

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6143-5380), ozisik@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.918824)

ATIF/REFERENCE: Özışık, M., (2021). Tabaka İle Örtülü Yarı Düzlemdeki Yüzey Dalgalarına Tabaka Kalınlığı ve Ön Gerilmelerin Etkisinin Tam Temas Koşulları Altında İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 87-93.

Öz

Yapı malzemelerinde ve birçok ortamda çok değişik nedenlerden dolayı ön gerilmeler oluşabilmektedir. Oluşan bu ön gerilmelerin bu ortamlardaki dalga yayılma hızına olan etkilerinin incelenmesi bu ortamlardaki ön gerilmelerin belirlenmesi gerek teorik gerekse mühendislik uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada lineer elastik malzemeden yapılmış bir tabaka ile kaplanmış olan yine lineer elastik malzemeden yapılmış olan bir yarı düzlem ele alınmıştır. Bunun için öncelikle tabaka ve yarı düzlem üzerine herhangi bir öngerilmenin etki etmediği (ön gerilmeksiz) durumda yarı düzlemdeki yüzey dalgalarının dispersiyonu üzerinde çalışılmıştır. Daha sonra yine öng erilmeksiz durumda tabaka kalınlığı değiştirilmek suretiyle tabaka kalınlığının yarı düzlemdeki yüzey dalgalarının dispersiyonuna olan etkisi incelenmiştir. Son durumda ise tabaka üzerine çekme ve basınç ön gerilmeleri uygulanmış ve bu ön gerilmelerin yarı düzlemdeki yüzey dalgalarına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmaların tamamı parçalı homojen cisim modeli çerçevesinde klasik lineer elastisite teorisi uygulanarak tabaka ve yarı düzlem arasında tam temas koşullarının gerçekleştiği varsayılarak yapılmıştır. Sayısal sonuçlar elde edilerek grafikler oluşturulmuş, bilinen sonuç ve fiziksel görüşlerle örtüştüğü gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yarı uzay, Yüzey dalgası, Ön gerilme, Dalga yayılım, dispersiyon.

Investigation of the Effect of Layer Thickness and Prestress on Surface Waves in the Half-Plane Covered by the Layer Under The Full Contact Conditions

Abstract

Pre-stresses can occur in building materials and in many environments for many different reasons. Investigating the effects of these pre-stresses on the wave propagation velocity in these environments is of great importance in terms of both theoretical and engineering applications. In this paper, a half plane made of linear elastic material covered with a layer made of linear elastic material is considered. For this, first of all, the dispersion of the surface waves in the half plane in the case where no prestress affects the layer and the half plane (without pre-stresses) has been studied. Afterwards, the effect of layer thickness on the dispersion of surface waves in the half-plane was investigated by changing the layer thickness in the unstressed state. In the last case, tensile and compressive stresses were applied on the layer and the effect of these pre-stresses on the half-plane surface wave was investigated. All of the studies have been carried out by applying the classical linear elasticity theory within the framework of the piecewise homogeneous body model, assuming that the full contact conditions between the layer and the half-plane are complete. Graphs were created by obtaining numerical results, and it was shown that they coincide with the known result and physical views.

Keywords: Half space, Surface wave, Prestress, Wave propagation, Dispersion.

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ozisik@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Yapı elemanları veya ortamlardaki ön gerilmeler çok farklı nedenlerden dolayı oluşabilmektedir. Yer kabuğunun değişik katmanlarında da değişik nedenlerden dolayı bir takım ön gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Günümüzde bu tür ön gerilmelerin incelenmesi özellikle deprem mekaniği açısından da büyük önem taşımaktadır. Ön gerilmelerin çok fazla inceleme konusu olduğu alanlardan bir tanesi de kompozit malzemelerdir. Zira kompozit malzemeler mühendislik olarak çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle ön gerilmeli ortamlardaki dalga yayılımı problemlerine ait araştırmalar çok geniş bir uygulama alanına sahip olup günceldir.

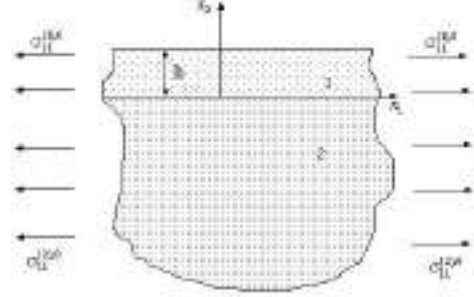
Ön gerilmeli ortamlarda dalga yayılımının incelenmesi, ön gerilmelerin dalga yayılımından dolayı oluşan gerilmelerden çok daha büyük olması kabulü çerçevesinde yapılmaktadır. Bu kabule ait yaklaşımlardan biri, literatürde ön gerilmeli ortamlarda dalga yayılımının üç boyutlu doğrusallaştırılmış teorileri (üç boyutlu dalga teorisi) olarak adlandırılmaktadır. Bu teori ile başka herhangi bir ilave hipoteze ihtiyaç duyulmamakta, ön gerilmelerin değerce dalga yayılımı nedeniyle oluşan gerilmelerden çok daha büyük olması koşulu göz önüne alınarak sürekli ortamlar mekaniğinin kesin doğrusal olmayan üç boyutlu denklemleri doğrusallaştırılarak dalga yayılımı modelleri yapılmaktadır. Bu alandaki ilk çalışmalar (Green, 1961; Guz ve ark., 1970; Hayes ve Rivlin, 1961; Stroh, 1962; Thurston ve Brugger, 1964; Şuhubi, 1965; Demiray ve Şuhubi, 1970) olarak gösterilebilir. Bu teori çerçevesindeki çalışmalarda genel olarak ön gerilmeler homojen olarak kabul edilmekte, yapılan incelemeler üç boyutlu doğrusallaştırılmış dalga teorisi çerçevesinde yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında da aynı tür yaklaşım ile inceleme yapılmıştır. Bu çerçevede incelenen başlıca dalga türleri Rayleigh, Stoneley ve Lamb dalgaları olarak sıralanabilir. Bu tür dalgalar aynı zamanda belirli koşullar altında yüzey dalgası oluşturma durumu da olan dalgalardır. Bahsedilen dalgalarda ön gerilmelerin dalga yayılımına olan etkileri (Makhort, 1975; Guz, 1995a; Guz, 1995b; Guz ve Makhort, 2000; Love, 1944; Chattopadhyay ve Kar, 1981) vb. birçok çalışmada incelenmiştir. Bütün bu hususlar dahilinde kompozit malzemelerin mühendislik alanında çok yaygın olarak kullanılması, ön gerilmelerin dalga yayılımına olan etkisinin büyük önem taşıması yapılan çalışmanın güncelliğini koruduğunu ve önemli olduğunu ifade etmektedir. Bu alandaki çalışmalar için (Akbarov, 2007; Negin ve ark., 2014; Abd-Alla ve ark., 2017) vb. diğer çalışmalar gösterilebilir. Ele alınan problem gerek yüzey dalgaları gerekse Rayleigh dalgaları anlamında güncelliğini korumaktadır. Bu bağlamda elastik katı, viskoelastik veya sıkıştırılmaz viskoelastik ortamlarda yüzey ve Rayleigh dalga yayılımı, ön gerilmelerin dalga yayılımına olan etkilerine dair olarak (Ashayeri ve ark., 2016; Akbarov ve Negin, 2017; Sing ve ark., 2017; Sharma, 2020) güncel bazı çalışmalar olarak verilebilir.

2. Problemin Tanımlanması ve Çözümü

2.1. Problemin Tanımlanması

Problemi tanımlayabilmek için (Tolstoy ve Usdin, 1953; Eringen ve Şuhubi, 1975) kaynaklarında belirtilen genelleştirilmiş Rayleigh dalgalarının tanımlanmasına ilişkin olarak yapılmış olan incelemeler çerçevesinde öncelikle ön gerilmelidir duruma ilişkin olarak tabaka ve yarı düzlem arasında tam temas koşullarının sağlandığı kabulü ile ön gerilmelidir duruma ait dispersiyon eğrileri

elde edilerek yapılan çalışmanın bu kaynaklar ile örtüştüğü gösterilmiştir. Bu amaçla (Tolstoy ve Usdin, 1953; Eringen ve Şuhubi, 1975) kaynaklarında gösterildiği gibi kalınlığı h ($kh=H$) olan sonsuz bir tabaka ile örtülü yarı düzlemi, başlangıcı yarı düzlem ve tabaka ara düzleminde yerleştirilmiş ve OX_1 eksenini bu ara düzlem üzerinde Şekil 1.'de gösterildiği gibi yönelen kartezyen koordinat takımı seçilmiştir. Tabaka $\{-\infty < x_1 < +\infty, 0 \leq x_2 \leq h\}$ alanını, yarı düzlem ise $\{-\infty < x_1 < +\infty, -\infty < x_2 \leq 0\}$ alanını kapsamaktadır.



Şekil 1. Ön gerilmelidir duruma ait tabaka ve yarı düzlem

Bundan sonraki süreçte tabakaya ait büyüklükler üst (1), yarı düzleme ait büyüklükler ise üst (2) indisi ile ifade edilecektir.

Parçalı homojen cisim modeli çerçevesinde tabaka ve yarı düzlemin kapsadığı alanların her birinde ayrı ayrı olarak elastisite teorisinin hareket denklemleri sağlanır.

$$\frac{\partial \sigma_{11}^{(m)}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}^{(m)}}{\partial x_2} = \rho^{(m)} \frac{\partial^2 u_1^{(m)}}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma_{11}^{(m)}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}^{(m)}}{\partial x_2} = \rho^{(m)} \frac{\partial^2 u_1^{(m)}}{\partial t^2}$$

Burada $\sigma_{ij}^{(m)}$ 'ler ($i,j,m=1,2$) gerilme tansörünün bileşenlerini,

$u_i^{(m)}$ 'ler yer değiştirme vektör bileşenlerini, $\rho^{(m)}$ ise tabaka ve yarı düzlem malzemesinin yoğunluğunu göstermektedir. Tabaka ve yarı düzlem malzemeleri lineer elastik, homojen ve izotrop olup, şekil değiştirme tansör bileşenleriyle gerilme tansörü bileşenleri arasındaki bağıntılar;

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{(m)} &= \lambda^{(m)} \theta^{(m)} + 2\mu^{(m)} \varepsilon_{11}^{(m)} \\ \sigma_{22}^{(m)} &= \lambda^{(m)} \theta^{(m)} + 2\mu^{(m)} \varepsilon_{22}^{(m)} \\ \sigma_{12}^{(m)} &= 2\mu^{(m)} \varepsilon_{12}^{(m)} \\ \theta^{(m)} &= \varepsilon_{11}^{(m)} + \varepsilon_{22}^{(m)} \end{aligned} \quad ; \quad m=1,2 \quad (2)$$

ile verilmektedir. $\varepsilon_{ij}^{(m)}$ 'ler şekil değiştirme tansör bileşenlerini, $\lambda^{(m)}$ ve $\mu^{(m)}$ ise tabaka ve yarı düzlem malzemelerinin mekanik sabitlerini (Lame sabitleri) ifade etmektedir. Şekil değiştirme tansör bileşenleri ile yer değiştirme vektör bileşenleri arasındaki ilişki;

$$\varepsilon_{ij}^{(m)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i^{(m)}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^{(m)}}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

bağıntısı ile verilmektedir.

Tabaka ile yarı düzlem arasındaki tam temas koşulları ise;

$$\begin{aligned} u_i^{(1)}|_{x_2=0} &= u_i^{(2)}|_{x_2=0} \\ \sigma_{i2}^{(1)}|_{x_2=0} &= \sigma_{i2}^{(2)}|_{x_2=0} \end{aligned} \quad (i=1,2) \quad (4)$$

ile tanımlanmıştır. Ayrıca tabakanın üst yüzeyine herhangi bir dış etki olmaması ise;

$$\sigma_{i2}^{(1)}|_{x_2=h} = 0 \quad (i=1,2) \quad (5)$$

koşulu ile yazılmaktadır.

Genelleştirilmiş Rayleigh dalgaları ve yüzey dalgalarının tanımı gereğince yarı düzlem üzerinde yüzey dalgalarının oluşabilmesi için;

$$\sigma_{ij}^{(2)} \xrightarrow{x_2 \rightarrow -\infty} 0, \quad u_i^{(2)} \xrightarrow{x_2 \rightarrow -\infty} 0. \quad (6)$$

olarak tanımlanan sönüm koşullarının da sağlandığı varsayılacaktır. Dolayısıyla (1)-(6) denklemleri ile ele alınacak olan problemin matematiksel formülasyonu verilmiştir. Daha önce de vurgulandığı üzere bu buruma ait dalgaların incelenmesi (Tolstoy ve Usdin, 1953) tarafından yapılmış bulunmaktadır.

Bu çalışmadaki amacımız Şekil 1. 'de belirtilen tabaka ile örtülü yarı düzlemde OX_1 eksenini yönünde yayılan ve $\exp(i(kx_1 - \omega t))$ çarpımı ile ifade edilen yüzey dalgalarının (1)-(6) denklem ve sınır koşulları çerçevesinde ele alınmasıdır. Bu amaçla;

$$\{\sigma_{ij}^{(m)}, \varepsilon_{ij}^{(m)}, u_i^{(m)}\} = \{\bar{\sigma}_{ij}^{(m)}, \bar{\varepsilon}_{ij}^{(m)}, \bar{u}_i^{(m)}\} \cdot \exp(i(kx_1 - \omega t)) \quad (7)$$

(1)-(6) denklemlerine ait bütün büyüklükler (7) ile gösterilmek suretiyle, (1)-(6) denklemlerinden $c = (\omega/k)$ ve k arasındaki bağıntıyı bulmak amacıyla öz değer problemi elde edilir. Burada $1/k$ dalga boyunu, ω dalganın frekansını, c ise dalganın faz hızını ifade etmektedir.

2.1.1. Dispersiyon denklemlerinin elde edilmesi

(1)-(6) denklemlerinden (7) çerçevesinde dispersiyon denklemlerini elde etmek için (7) ifadesini;

$$\begin{aligned} u_1^{(m)} &= \bar{u}_1^{(m)} \sin(kx_1 - \omega t) \\ u_2^{(m)} &= \bar{u}_2^{(m)} \cos(kx_1 - \omega t) \\ \sigma_{11}^{(m)} &= \bar{\sigma}_{11}^{(m)} \cos(kx_1 - \omega t) \\ \sigma_{22}^{(m)} &= \bar{\sigma}_{22}^{(m)} \cos(kx_1 - \omega t) \\ \sigma_{12}^{(m)} &= \bar{\sigma}_{12}^{(m)} \sin(kx_1 - \omega t) \end{aligned} \quad (8)$$

(8) ifadesi ile değiştirmiş olalım. Bu şekilde bir değişimin problemin çözümü üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Düzlem şekil değiştirme durumunda;

$$u_1^{(m)} = \frac{\partial \phi^{(m)}}{\partial x_1} + \frac{\partial \psi^{(m)}}{\partial x_2}; \quad u_2^{(m)} = \frac{\partial \phi^{(m)}}{\partial x_2} - \frac{\partial \psi^{(m)}}{\partial x_1} \quad (9)$$

olarak yazalım. (9) ifadesindeki $\phi^{(m)}$ ve $\psi^{(m)}$ fonksiyonları,

$$\Delta \phi^{(m)} = \frac{1}{(c_1^{(m)})^2} \frac{\partial^2 \phi^{(m)}}{\partial t^2}; \quad \Delta \psi^{(m)} = \frac{1}{(c_2^{(m)})^2} \frac{\partial^2 \psi^{(m)}}{\partial t^2} \quad (10)$$

denklemlerini sağlamaktadır. (10) ifadesindeki $c_1^{(m)}$ ve $c_2^{(m)}$ sırasıyla m. malzemedeki boyuna ve enine dalga hızını ifade etmekte olup;

$$c_1^{(m)} = \sqrt{\frac{\lambda^{(m)} + 2\mu^{(m)}}{\rho^{(m)}}}; \quad c_2^{(m)} = \sqrt{\frac{\mu^{(m)}}{\rho^{(m)}}} \quad (11)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. (9) ve (10) denklemlerinden;

$$\phi^{(m)} = \phi_0^{(m)}(x_2) \cos(kx_1 - \omega t) \quad (12)$$

$$\psi^{(m)} = \psi_0^{(m)}(x_2) \sin(kx_1 - \omega t)$$

olarak yazılır. (12) ifadesi (10) denkleminde yazılmak suretiyle $\phi_0^{(m)}$ ve $\psi_0^{(m)}$ fonksiyonları için;

$$\frac{\partial^2 \phi_0^{(m)}}{\partial (kx_2)^2} + \left(\frac{c^2}{(c_1^{(m)})^2} - 1 \right) \phi_0^{(m)} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 \psi_0^{(m)}}{\partial (kx_2)^2} + \left(\frac{c^2}{(c_2^{(m)})^2} - 1 \right) \psi_0^{(m)} = 0$$

elde ederiz. Bu denklemin çözümünü;

$$\begin{aligned} \phi_0^{(1)} &= A_1^{(1)} \exp(ikp_1^{(1)} x_2) + A_2^{(1)} \exp(-ikp_1^{(1)} x_2) \\ \psi_0^{(1)} &= A_3^{(1)} \exp(ikp_2^{(1)} x_2) + A_4^{(1)} \exp(-ikp_2^{(1)} x_2) \\ \phi_0^{(2)} &= B_1^{(2)} \exp(kq_1^{(2)} x_2) \\ \psi_0^{(2)} &= B_2^{(2)} \exp(kq_2^{(2)} x_2) \end{aligned} \quad (14)$$

olarak elde ederiz. (14) ifadesinde $A_1^{(1)}, A_2^{(1)}, A_3^{(1)}, A_4^{(1)}, B_1^{(2)}$ ve $B_2^{(2)}$ bilinmeyen sabitler olup;

$$p_1^{(1)} = \frac{c}{c_1^{(1)}}; \quad p_2^{(1)} = \frac{c}{c_2^{(1)}} \quad (15)$$

$$q_1^{(2)} = \sqrt{1 - \frac{c^2}{(c_1^{(2)})^2}}; \quad q_2^{(2)} = \sqrt{1 - \frac{c^2}{(c_2^{(2)})^2}}$$

olarak tanımlıdır. (14) denklemini ele alınarak (12), (3) ve (2)'den elde edilen sonuçlar (4) ve (5) denklemlerinde yerine yazılırsa (tam temas koşulları sağlatılırsa) (14) ifadesini temsilen $A_1^{(1)}, A_2^{(1)}, A_3^{(1)}, A_4^{(1)}, B_1^{(2)}$ ve $B_2^{(2)}$ bilinmeyen sabitleri için 6 tane lineer homojen cebirsel denklem takımı elde ederiz. Bu denklem takımı c ile kh ($kh=H$) arasındaki ilişkiyi göstermekte olup bu denklem takımının sıfırdan farklı çözümünün olması için bu takımın ifade ettiği 6×6 boyutundaki katsayılar determinantının sıfıra eşit olması gerekir. Bu ise ele alınan problemin çözümüne dair elde edilmesi gereken dispersiyon denkleminin ifadesinden başka bir şey değildir. Dolayısıyla;

$$\det \|\alpha_{ij}\| = 0, \quad i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (16)$$

olarak yazarız.

2.1.2. Dispersiyon denkleminin çözümü

(16) dispersiyon denklemindeki α_{ij} 'ler kh , $c = \omega/k$, $\lambda^{(1)}$, $\lambda^{(2)}$, $\mu^{(1)}$, $\mu^{(2)}$, $\rho^{(1)}$ ve $\rho^{(2)}$ parametrelerine bağlı olup c ve kh dışındaki diğer parametreler tabaka ve yarı düzlemin mekanik özelliklerini göstermektedir ve önceden bilinmektedir.

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(kh, c, \lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}, \mu^{(1)}, \mu^{(2)}, \rho^{(1)}, \rho^{(2)}) \quad (17)$$

olarak yazabiliriz. Bu ifadedeki kh boyutsuz dalga boyunu, c ise bahse konu yüzey dalgalarının faz hızını göstermektedir. Yayılan dalgaların faz hızı dalga boyuna bağlıysa bu tür dalgalara dispersif dalgalar denilmektedir. Lineer elastik ve izotrop düzlemde yayılan yüzey dalgaları ile genelleştirilmiş Rayleigh dalgaları ve bu çalışmada incelenen dalgalar dispersif dalgalardır. (Tolstoy ve Usdin, 1953; Achenbach ve Epstein, 1967; Eringen ve Şuhubi, 1975)

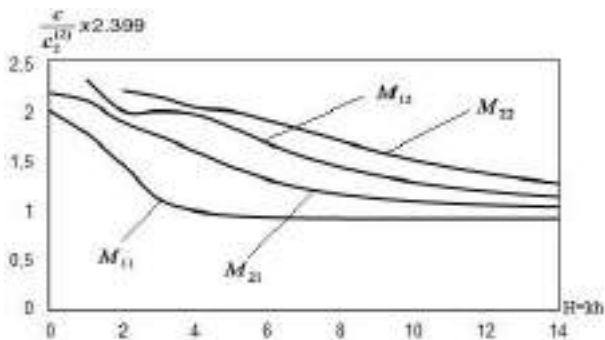
(17) dispersiyon denkleminin çözümü için kh parametresine (H) başlangıçta değer verilerek (17) denklemindeki c 'nin bu denklemi sağlayan değeri aranır. Böylece kh (H) değerlerine bağımlı olarak dalganın c faz hızı bulunmuş olur. Yukarıdaki tanımlara göre eğer farklı kh değerleri için farklı c 'ler bulursak dalga dispersive dalgadır. Bütün kh (H) değerleri için işlem aynı şekilde tekrar edilir. Bu işlem esnasında aynı kh değerine karşılık farklı c değerlerinin elde edilmesi (Tolstoy ve Usdin, 1953; Eringen ve Şuhubi, 1975) ve daha birçok kaynakta detaylı olarak verildiği üzere genelleştirilmiş Rayleigh dalgalarının sırasıyla birinci dal birinci moduna (M_{11}), ikinci dal birinci moduna (M_{21}), birinci dal ikinci moduna (M_{12}) ve ikinci dal ikinci moduna (M_{22}) karşılık gelmektedir.

3. Sayısal sonuçların elde edilmesi

Yukarıda belirtilen c ile kh arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere tabaka malzemesi için akrilik, yarı düzlem için çelik seçilmiş olup malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1.'de verilmiştir.

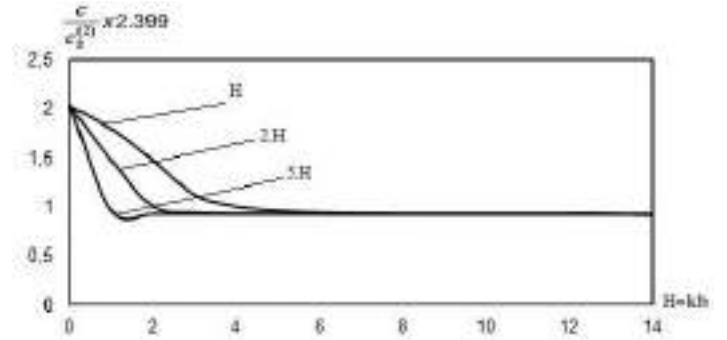
Tablo 1. Tabaka ve yarı düzlem malzemelerinin mekanik özellikleri

Malzeme	ρ (gr/cm ³)	$\lambda \times 10^{-4}$ MPa	$\mu \times 10^{-4}$ MPa
Çelik	7.795	9.26	7.75
Akrilik	1.16	0.404	0.19

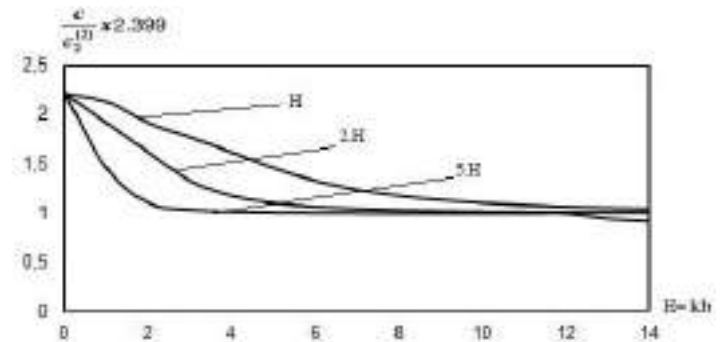


Şekil 2. Akrilik-Çelik için ön gerilmemiş durumda tabaka ve yarı düzleme ait dispersiyon eğrileri.

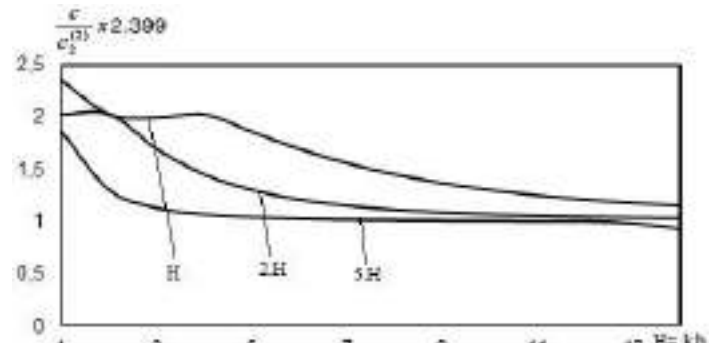
Şekil 2. de $c_2^{(2)} / c_1^{(1)} = 2,399$ olarak alınmış olup elde edilen dispersiyon eğrileri (Tolstoy ve Usdin, 1953; Akbarov ve Özışık, 2003) çalışmalarını ile örtüşmektedir.



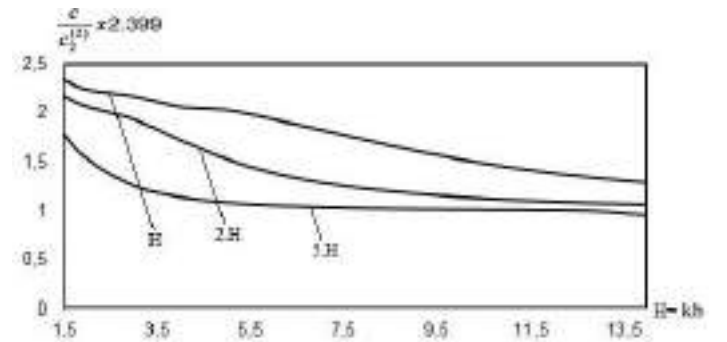
Şekil 3. Akrilik-Çelik ön gerilmemiş durumda tabaka kalınlığının dispersiyona olan etkisi (birinci dal-birinci mod (M_{11}))



Şekil 4. Akrilik-Çelik ön gerilmemiş durumda tabaka kalınlığının dispersiyona olan etkisi (ikinci dal-birinci mod (M_{21}))



Şekil 5. Akrilik-Çelik ön gerilmemiş durumda tabaka kalınlığının dispersiyona olan etkisi (birinci dal-ikinci mod (M_{12}))



Şekil 6. Akrilik-Çelik ön gerilmemiş durumda tabaka kalınlığının dispersiyona olan etkisi (ikinci dal-ikinci mod (M_{22}))

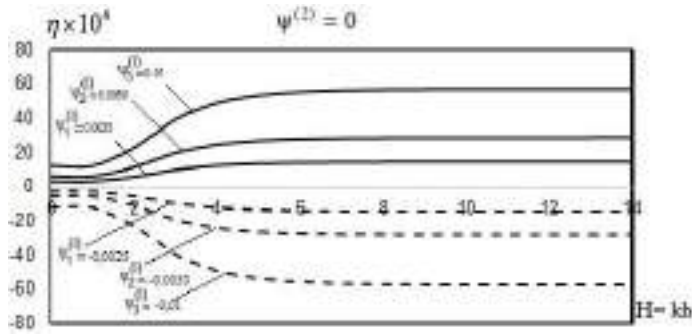
Tabaka malzemesine uygulanan ön gerilmenin çekme

$(\psi^{(m)} = \frac{\sigma^{(m)}}{\mu^{(m)}} > 0)$ veya bası $(\psi^{(m)} = \frac{\sigma^{(m)}}{\mu^{(m)}} < 0)$ olması

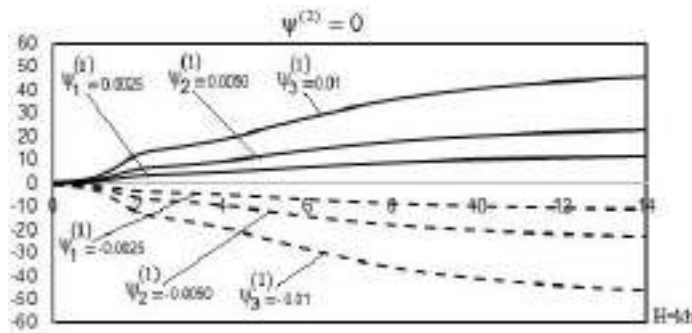
durumunda dalga hızındaki değişime ait grafiklerin daha kolay elde edilebilmesi için Şekil 7.-Şekil 14.'deki grafikler için

$$\eta = \frac{\bar{c} - c_0}{c_0} \quad (18)$$

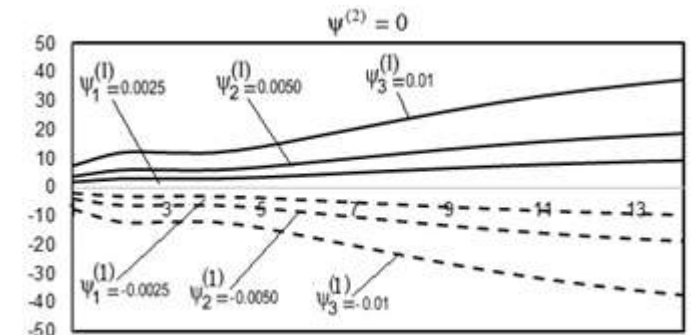
olarak alınmıştır. Burada $\bar{c} = \frac{c}{c_2^{(2)}}$ şeklinde yarı düzlemde ön gerilmeli durumda oluşan dalga hızını, c_0 ise ön gerilmemiş durumdaki dalga hızını göstermektedir.



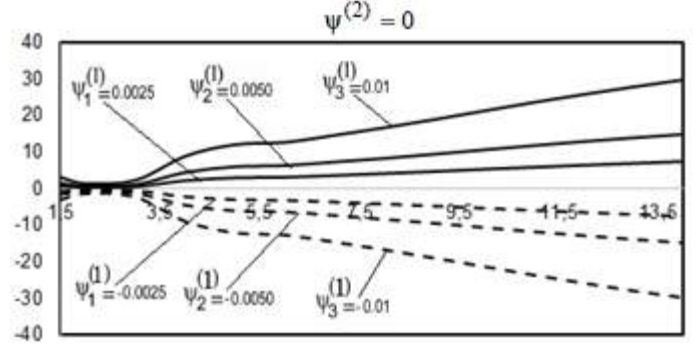
Şekil 7. Akriklik-Çelik – Tabaka ön gerilmesinin dalga hızına etkisi (birinci dal-birinci mod (M_{11}))



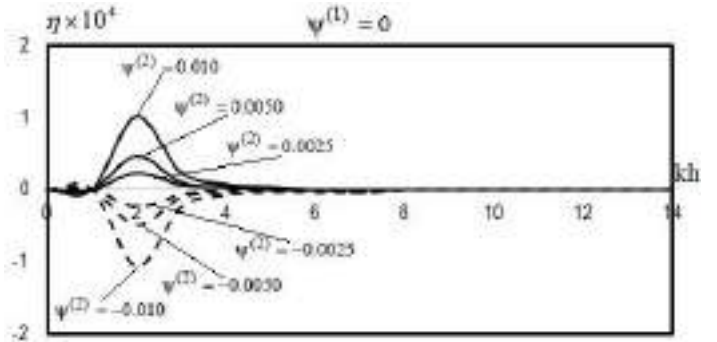
Şekil 8. Akriklik-Çelik – Tabaka ön gerilmesinin dalga hızına etkisi (ikinci dal-birinci mod (M_{21}))



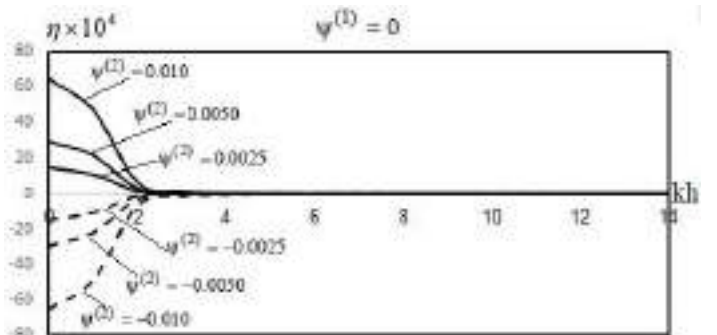
Şekil 9. Akriklik-Çelik – Tabaka ön gerilmesinin dalga hızına etkisi (birinci dal-ikinci mod (M_{12}))



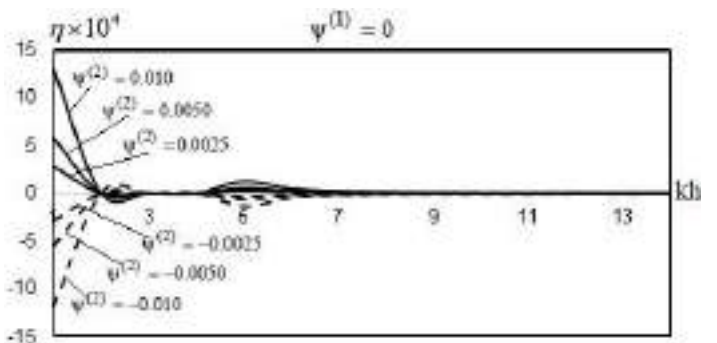
Şekil 10. Akriklik-Çelik – Tabaka ön gerilmesinin dalga hızına etkisi (ikinci dal-ikinci mod (M_{22}))



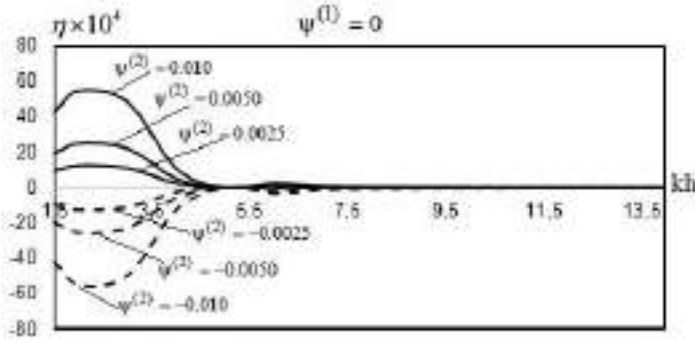
Şekil 11. Akriklik-Çelik, yarı düzlemdeki ön gerilmelerin dalga hızına etkisi (birinci dal-birinci mod (M_{11}))



Şekil 12. Akriklik-Çelik, yarı düzlemdeki ön gerilmelerin dalga hızına etkisi (ikinci dal-birinci mod (M_{21}))



Şekil 13. Akriklik-Çelik, yarı düzlemdeki ön gerilmelerin dalga hızına etkisi (birinci dal-ikinci mod (M_{12}))



Şekil 14. Akrilik-Çelik, yarı düzlemdeki ön gerilmelerin dalga hızına etkisi (ikinci dal-ikinci mod (M_{22}))

4. Sonuç

-Şekil 2.'den görüleceği üzere bazı dal ve modlarda kh için kesim değeri (dalga yayılımının oluşmaya başladığı değer) söz konusu olmaktadır.

-Şekil 3.-Şekil 6. dispersiyon eğrilerinden açıkça görüldüğü üzere ön gerilmemiş durumda yarı düzlemi kaplayan tabaka kalınlığının artması bütün dal ve modlar için açık olarak dalga hızını belirli bir kh^* değerine düşürmekte, $kh > kh^*$ için asimptotik olarak kalmaktadır. (kh^* değeri bütün dal ve modlar için değişmektedir.)

-Şekil 7.-Şekil 10.'dan açıkça görüldüğü üzere yarı düzlem malzemesinin ön gerilmemiş olduğu durumda tabaka malzemesine ön gerilme uygulanması yarı düzlemde oluşan yüzey dalgalarının hızına etki etmektedir. Tabakaya uygulanan ön gerilmenin çekme ($\psi = (\sigma / \mu) > 0$) olması durumunda yarı düzlemdeki yüzey dalgalarının hızı artmakta, belli bir $kh < kh^*$ değerinden sonra hız sabit (asimptotik) kalmaktadır. (kh^* değeri dal ve moda göre değişmektedir.)

-Yarı düzlem malzemesinin ön gerilmemiş olduğu durumda tabakaya uygulanan ön gerilmenin bası ($\psi = (\sigma / \mu) < 0$) olması durumunda yarı düzlemdeki yüzey dalgalarının hızı azalmakta, belli bir kh^* değerinden sonra hız sabit (asimptotik) kalmaktadır. (kh^* değeri dal ve moda göre değişmektedir.)

-Tabakanın ön gerilmemiş, yarı düzlemin ise ön gerilmeli olduğu durumda (Şekil 11.-Şekil 14.) yarı düzlemdeki ön gerilmelerin dalga hızına etkisi tabakaya uygulanan ön gerilmelerin etkisi kadar büyük olmamaktadır.

-Tabakanın ön gerilmemiş, yarı düzleme ise çekme ön gerilmesi uygulanması durumunda Şekil 11. ve Şekil 14.'den görüleceği üzere birinci dal birinci mod için bu etki çok küçük kalmaktadır. Ayrıca bu etki birinci dal birinci mod ve ikinci dal ikinci mod için belli bir kh değerine kadar artma, belli bir kh değerinden itibaren ise azalma şeklinde etki göstermektedir. İkinci dal birinci mod ve birinci dal ikinci mod için ise dalga hızı azalmaktadır. (Şekil 12. ve Şekil 13.)

-Tabakanın ön gerilmemiş, yarı düzleme ise bası ön gerilmesi uygulanması durumunda Şekil 11. ve Şekil 13.'den görüleceği üzere birinci dal birinci mod için bu etki çok küçük kalmaktadır. Ayrıca bu etki birinci dal birinci mod ve ikinci dal ikinci mod için belli bir kh değerine kadar mutlak değerce artma, belli bir kh değerinden itibaren ise mutlak değerce azalma şeklindedir. İkinci dal birinci mod ve birinci dal ikinci mod için ise dalga hızı azalmaktadır. (Şekil 12. ve Şekil 13.)

-Tabakanın ön gerilmemiş, yarı düzlemin ise gerek çekme gerekse bası ön gerilmeli olması durumunda yarı düzlemdeki dalga yayılım hızı bütün dal ve modlarda belirli bir kh değerinden sonra $kh^* < kh < \infty$ olacak şekilde asimptotik olarak sıfır olmaktadır.

-Elde edilen sonuçlar bilinen fiziksel görüş ve yorumlarla örtüşmektedir.

Kaynakça

- Abd-Alla, A. M., Aftab K., Abo-Dahab, S. M. (2017). Rotational effect on thermoelastic Stoneley, Love and Rayleigh waves in fibre-reinforced anisotropic general viscoelastic media of higher order. *Computers, Materials & Continua*, vol. 53, no. 1, pp. 52-72.
- Achenbach, J.D., Epstein, H.I. (1967). Dynamic Interaction A Layer and a Half-Space I. *Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.*, 93, EM5, 24-42.
- Akbarov, (2007). Recent investigations on the dynamical problems of the elastic body with initial (residual) stresses, (review), *Int. Applied. Mech.*, 43, No. 12, 3-27.
- Akbarov S. D., Negin M.(2017). Generalized Rayleigh Wave Dispersion in a Covered Half-space Made of Viscoelastic Materials, *Computers, Materials & Continua*, vol.53, no.4, pp.307-341.
- Akbarov, S. D., Ozisik, M. (2003). The Influence of the Third Order Elastic Constants to the Generalized Rayleigh Wave Dispersion in a Pre-Stressed Stratified Half-Plane, *Int. Journal of Engineering Science*, vol. 41, pp. 2047-2061.
- Ashayeri I., Biglari M., Rezaie Sefat M.(2016). Elastic wave theory for propagation of Rayleigh waves at surface of unsaturated semi-infinite media. *Japanese Geotechnical Soc. Special Publication*, V.2, P.446-450.
- Chattopadhyay, A., Kar, B. K. (1981). Love Waves Due to a Point Source in an Isotropic Elastic Medium Under Initial Stress, *Int. J. Non-Linear Mech.*, 16, 247-258.
- Demiray, H., Suhubi, E.S. (1970). Small Torsional Oscillations in Initially Twisted Circular Subber Cylinder, *Int. Journal of Engineering Science*, 8 (1).
- Eringen, A.C., E., S. Suhubi (1975). Elastodynamics, Volume II, Linear Theory. *Academic Press New York*, 343-1001.
- Green, A.E. (1961). Torsional Vibrations of an Initially Stressed Circular Cylinder in Problems of Continuum Mechanics (Muskhelishvili anniv. vol), *Society for Industrial and Appl. Math.*, Philadelphia, Pennsylvania, 148-154.
- Guz, A.N. (1995a). Elastic waves in Laminated Periodic Bodies with Initial (Residual) Stresses, *Book of Abstracts of ICIAM 95 Hamburg* 3-7 Temmuz, 173.
- Guz, A.N. (1995b). Surface Waves Along Planar and Curvilinear Surfaces in Bodies with Initial Stresses, *Book of Abstracts of ICIAM 95 Hamburg* 3-7 Temmuz, 296.
- Love, A.E.H.(1944). Mathematical Theory of Elasticity, 4th Ed., *Cambridge University Press*. (reprinted by Dover Publications, New York)
- Makhort, F.G. (1975). To the Surface Wave Propagation in the Elastic Body with Initial Deformation, *Prikl Mech.*, V 7(2), 34-40.

- Guz, A.N., Makhort, F.G. (2000). Physical Principles of Ultrasonic Non-Destructive Method of Determination of Stresses in Rigid Solids, *Int. Appl. Mech.* 36 (9), 3-34.
- Hayes, K., Rivlin, R.S. (1961). Surface Waves in Deformed Materials, *Arch. Rat. Mech. and Anal.* 8 (5), 358 – 380.
- Negin, M., Akbarov, S. D., Erguven, M. E. (2014). Generalized Rayleigh wave dispersion analysis in a pre-stressed elastic stratified half-space with imperfectly bonded interfaces. *Computers, Materials & Continua*, vol. 42, no. 1, pp. 25-61.
- Sharma MD. (2020). Propagation of Rayleigh waves at the boundary of an orthotropic elastic solid, Influence of initial stress and gravity. *Journal of Vibration and Control*.26 (21-22):2070-2080.
- Singh P., Chattopadhyay A., Singh A. K. (2017). Rayleigh-type wave propagation in incompressible visco-elastic media under initial stress., *Applied Mathematics and Mechanics* (Eng. Ed.)
- Stroh, A.N. (1962). Steady State Problems in Anisotropic Elasticity, *J. Math. Phys.*, 41, 77 -103.
- Suhubi, E.S. (1965). Small Longitudinal Vibration of a n Initially Stressed Circular Cylinder, *International Journal of Engineering Science*, 2(5), 509-515.
- Tolstoy, I., Usdin, E. (1953). Dispersive Properties of Stratified Elastic and Liquid Media. A Ray Theory, *Geophysics*, 18, 844-870.



İç Mekân Kurgusunda Mobilya ve Mekân Kompozisyonu İlişkisi

Yaprak Özel^{1*}

^{1*} İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6439-4817), yozel@gelisim.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.929007)

ATIF/REFERENCE: Özel, Y. (2021). İç Mekân Kurgusunda Mobilya ve Mekân Kompozisyonu İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 94-104.

Öz

Mobilyaların ve mekânların başlangıç ve gelişim sürecine bakıldığında yerleşik düzene geçilmesi ile başladığı görülmektedir. İşleve göre iç mekânın ve mobilyaların biçimlenerek yerleşmesi ise çok sonraki süreçte devreye girmektedir. Yerleşik düzenden önce ateşin yandığı mekân; çalışma, pişirme, yeme ve uyuma mekânı gibi işlevleri barındırabilmekteydi. Bu süreçte mobilya çok kısıtlı bir kesimin sahip olabildiği, sahip olan kişilerin ise yanlarında taşıdıkları ve dolaştırdıkları hareketli öğelerdi. Bu aşamada bahsi geçen düz bir tablanın mekân içindeki sabit kaideler üzerine yerleşmesi ile meydana gelen çalışma veya yemek masası gibi mobilyalardır. Asillerin soyluların, devlet görevlilerinin veya kralların sahip olabildiği o dönemki mobilyalar, günümüzde halen mobilyanın bir statü göstergesi olmasının nedenidir. Halk kesimi de, kendince ürettiği daha basit çevredeki ahşap ve taş gibi malzemelerle üretilmiş, kaba denilebilecek ve işlevin baskın tutulduğu mobilyalar kullanılmaktaydı. Mobilyalar ilk üretildikleri dönemden itibaren, beğeni ve değer öncelikli tutularak üretilmiş ve kimi dönemlerde ise bu statü göstergesi öğelere yapılan harcamalar nedeni ile ülke bütçelerinde sorunlar yaşanmıştır. Günümüzde halen güzel bulduğumuz beğendiğimiz mobilyalar ile iç mekânlarımızı donatmaktayız.

Mobilya iletişim özelliği sayesinde kullanıldığı dönemin değerlerini, malzeme teknolojilerini ve üretim-yapım tekniklerini toplumun sosyal, kültürel ve ekonomik yapısını bizlere aktarmaktadır. Bir çeşit geçmiş dönemlere ait veri bankası özelliği taşımaktadırlar. Mekân mobilya ilişkisi bu aşamalardan geçerek günümüze gelmiş toplumsal, sosyal, kültürel hareketlerle biçimlenmiş, teknoloji ile beslenerek gelişmiş ve günümüzde her kesimin bütçesine uygun çeşitli alternatifleri ile ulaşabileceği ihtiyaçlarına ve beğenisine göre seçebildiği bir öge haline gelmiştir.

Mobilya ögesinin biçimlendirilmesi, iç mekân içindeki yerleşimi, konumu ve diğer mobilyalarla kuracağı ilişki birer kompozisyon kurgusu oluşturmaktadır. İç mekânın tasarımında işlev ve gerekleri konumlandırıldıktan sonraki aşama kullanıcının ihtiyaçlarını-eylemlerini karşılayacak ve onu destekleyecek mobilyaların seçimidir. Kompozisyonun bir ögesi olan mobilyaların aynı şekilde ana hizmet eylemleri öncelikli biçimlendiriliş nedenleridir. Temelde her eşyanın veya mobilyanın var olma nedeni bir ihtiyaca cevap vermektir. Mobilyalar, mekân içindeki kompozisyonun biçimlendirici ve tamamlayıcı öğeleridir. Bu düzenleme aşamasında kullanılabilir yöntemler ve kompozisyon türleri bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Kütle, kütleler kompozisyonu, benzer ve farklı kütleler ile oluşturulabilecek kompozisyon türleri, tasarım ilkelerinin önderliğinde kazandırdığı kurgusal etkiler, mobilya-mobilya ve mobilya mekân ilişkileri üzerinden aktarılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İç mekân tasarımı, Mobilya, Kompozisyon.

The Relationship Between Furniture and Space Composition in Interior Design

Abstract

Looking at the initial and development process of the furniture and spaces, it is seen that it started with the transition to the settled order. According to the function, the interior space and furniture are shaped and settled in the very next process. The place where the fire was burning; It could accommodate functions such as working, cooking, eating and sleeping spaces. In this process, furniture was the moving elements that a very limited segment could own and carried around with them. Furniture such as a study or dining table created by placing a flat table on fixed bases in the space. The furniture of that period, which may have been owned by nobles, government officials or kings, is the reason why it is still a status indicator today. The public also used simpler furniture that they produced themselves. Furniture produced with materials such as wood and stone around them, which can be called rough, was used. Furniture has been produced by prioritizing taste and value since the period they were first produced, and sometimes there were problems in the country's budgets due to the expenditures made on items that indicate this status. Today, we still equip our interiors with the furniture we like, which we find beautiful.

* Sorumlu Yazar: yozel@gelisim.edu.tr

Furniture conveys the values of the period in which it is used, material technologies and production-production techniques, the social, cultural and economic structure of the society. It is like a database of past periods.

The space-furniture relationship has been shaped by the social and cultural movements that have come to the present day through these stages, developed by feeding with technology, and today it has become an element that every segment can choose according to their needs and tastes with various alternatives suitable for their budget.

The shaping of the furniture element, its placement in the interior, its location and the relationship it will establish with other furniture constitute a composition setup. The next step in the design of the interior is the selection of furniture that will support the needs and actions of the user after the functions and requirements are located. Furniture, which is an element of the composition, is also the primary reasons for shaping the main service actions. Basically, the reason why every item or furniture exists is to answer a need. Furniture are the formative and complementary elements of the composition in the space. The methods and composition types that can be used in this arrangement stage are the subject of this study. Mass, composition of masses, types of composition that can be created with similar and different masses are conveyed through the fictional effects gained under the leadership of design principles, furniture-furniture and furniture-space relations.

Keywords: Interior design, Furniture, Composition.

1. Giriş

Geçmişinden bugüne mobilya iç mekânların bir parçası olmuş işlevlerin yerine getirilmesinde mekânı tamamlamış biçimlendirmiştir. Kullanıcısı için bir destek, bedensel uzantısı olarak görev almış ve iç mekânların kullanımında destekleyici rol üstlenmiştir. Önceleri sadece bir yığın samanın üzerinde dinlenme alanı olarak biçimlenen iç mekân ve mobilya, gerçek anlamda yerleşik hayata geçilmesi ile yerini bulmuştur.

Günümüzde koşullandırılmış iç mekânlarda, güdülenmiş bir takım ihtiyaçlar çerçevesinde gerçekten ihtiyaç duyulup duyulmadığı bilinmediği halde sahip olunan ve bir şekilde mekân kurgularının vazgeçilmez öğeleri olarak tefrişleri tamamlamakta ve yerlerini almaktadır. Kolaylıkla herkesin sahip olamadığı toplumun sadece belirli kesimlerince sahip olunabilen mobilyalar her zaman için mobilya ustalarının ve sanatçıların duygu ve düşüncelerini yansıttıkları birer obje görevi görmüştür.

Endüstrileşme mobilyanın bu özelliklerinden bir nebze de olsa uzaklaşmasına neden olmuştur. Artan kullanıcı talebini ve ihtiyaçlarını karşılamak için üretim sayısının artırılarak, kullanışlılık, dayanıklı olma ve bakım gerektirmeme gibi özellikler kazanmasına odaklanılmıştır. Bu nedenle önceki işçilik ve malzemeler değerlerini kaybetmiştir. Günümüzde özel sipariş ile oluşturulan mobilyalar halen üretilmekte ve kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişimi ve bununla birlikte gelişen iletişim araçları sayesinde toplumlar ve kültürler arasında farklar neredeyse yok olma noktasına gelmiştir. Hep yenilik peşinde koşan bu yeni toplum, hızlı tüketen, kullandığı ürünlerden ve mobilyalardan çabuk sıkılan ve sürekli değiştirme ihtiyacında olan bir yapıya bürünmüştür. Bu durum tasarımcılar ve üretici firmalar için bir avantaj olmuş yeni biçimler malzemeler ve üretim teknolojileri oluşturmalarını sağlamıştır.

Günümüzde, iç mekânlarımızda beğendiğimiz ve değerli bulduğumuz, çevresi ile uyum gösteren özellikte olan mobilyaları seçmekte ve kullanılmaktayız.

Mobilya, kullanıcısı içinde bir belirleyici mekân etkisi oluşturmaktadır. Kullanıcısı çevresinden ayırmakta ve ona özel alanı (kişisel alan sınırları) işaretlemekte yardımcı olmaktadır. İç mekândaki kişisel bazı mobilyalar o kullanıcıya ait alanlar oluşturmaktadır. Açık ofis sistemlerinde çalışana ait masa ve sandalye büyük mekânın içinde kendi iç mekânını oluşturmakta, kullanıcısının sınırlarını ve kişisel mekânını belirlemektedir. Mobilyalar iletişim özellikleri sayesinde bu sınırları vurgular ve diğer kullanıcıların geçmemeleri gereken sınırları belirlerken kendi kullanıcısı hakkında bilgiler ve verilerde sunmaktadır. Bu

sayededir ki geçmiş toplumların gelenek, görenek, kullandıkları malzemeler- malzeme teknolojileri ve ekonomik, sosyal yapıları hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.

İç mekânın işlevi ne olursa olsun kullanıcı profesyonel destek olarak veya kendi öngörüsü çerçevesinde mobilyalarını seçmekte ve kendi konforu için en uygun düzeni kurgulamaktadır. Kullanıcı ihtiyaçlarına göre profesyonel tasarımcılar tarafından kişiye özel üretilmeyen muhtemel kullanıcılar için seri olarak üretilmiş mobilyaların mekânlar içindeki kurgularında ve kendi tasarım aşamalarında bir takım ilkelere söz edilmesi gerekliliği doğmuştur.

Bu çalışmada mobilyaların kendi içindeki kompozisyon düzenleri ve iç mekân içindeki konumlanışları açısından kompozisyon düzenleri ve yerleşimleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kompozisyon Olgusu

Bir iç mekânın düzene konulmasında mekânın işlevi ne olursa olsun, tefriş elemanlarının kullanıcının beğenisine, konfor şartlarına göre seçilmesi ve düzenlenmesi sürecidir. Kurgulama aşamasında işlevsellik, iç mekân sirkülasyonu, kullanım alanları düşünülerek ve hesaplanarak mobilyalar yerleştirilmektedir. Mobilyaların birer öğe olarak tasarlanmasında veya bir iç mekândaki yerleşiminde, kompozisyon kuralları çerçevesinde yapılacak çözümler, yerleşimin kolay kurgulanmasında, kullanıcının işleve bağlı ihtiyaçları ve konfor beklentisinin karşılanmasında kolaylık sağlamaktadır.

Kompozisyon; insan zihinin tasarladığı ve geometrinin açıkladığı evrensel düzen (Güner, 1989). Öğelerin bir araya getirilişindeki kurgulama düzenleme olarak da tanımlanabilmektedir. Unsurların bir araya getirilme biçimidir (Güner, 1989). Doğanın sunduğu ve kılavuzluk ettiği bu düzenler sistemi canlı varlıkların bedensel sistemlerinde ve tasarlanmış, hayata geçirilmiş eşya ve eserlerde yansımalarını sunmaktadır. Tüm sanat eserlerinde olduğu gibi mobilyanın kendi bireysel düzeninde olduğu gibi iç mekân içindeki diğer mobilyalarla birlikte yerleşimi ve düzen oluşturma süreci de bu kompozisyon kurgusu ile düzenlenmektedir. Tüm sanat kompozisyonlarında görülen 3 olgu:

1. Öğeler
2. Öğeler arası ilişki
3. Öğe içi düzen (Güner, B. N., 1989)

Bu üç olgu tüm kompozisyon sistemlerinde; tek kütle ile olsun birden çok kütle ile oluşturulan kompozisyonlar olsun tasarlanması ve çözümlenmesi esas olan olgulardır.

Bir iç mekân düzenlemesinde şekil 1'de görüldüğü gibi mobilyaların herbiri kompozisyon ögesi, yan yana gelişleri kompozisyon ilişkisi, her mobilyanın biçimlenişi bir iç düzen oluşturmaktadır.



Şekil 1. İç mekân düzenlemesi örneği (Url-1)

Kompozisyon oluşturulurken öğeler tek kütle veya birden çok kütle ile olarak birbirleri ile ilişkilendirilir ve düzenlenir. Tek kütle ile oluşturulan kompozisyonlarda öğenin iç düzeni ve kütleyle oluşturan elemanların ilişkisi, birden çok kütle ile oluşturulan kompozisyon düzenlerine göre daha zordur ve ilişkilerin hassasiyetle kurgulanması gerekmektedir. Çok kütle ile kurgulanan kompozisyonlarda ise öğeler arası iliki daha öncelik kazanmaktadır. Bu düzenleme sistemlerini özelliklerini ve kurgulama aşamasında oluşturulabilecek ilkesel algılama etkileri aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

2.1.1. Tek Kütle Kompozisyonu

Tek bir mobilya, bir villa veya bir heykel gibi tek, ana bir kütlede oluşan her türlü biçimsel oluşum tek kütle kompozisyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu ana kütlelerin destekleyici veya tamamlayıcı yardımcı öğeleri şekil 2'de görüldüğü gibi tek kütle kompozisyonuna ait öğelerdir.

Bu kompozisyon düzenlemesinde parçalarda eksilme olduğu takdirde kompozisyon yok olmaktadır.



Şekil 2. Tek kütle kompozisyonu örneği (Url-2)

Tek kütle üzerindeki boşluk ve doluluk düzenlemesi, yarı saydam kısımların kullanımı, çevre destekleyici parçaların birbirleri ile oran ve ilişkisi kompozisyonun başarısını belirlemektedir.

Dolu-Boş dengesi: Bir mobilya tasarımında, mekân ve cephe tasarımında dolu-boş oranı (dengesi) iç düzeni oluşturmaktadır. Dolu yüzey oranında, boş yüzeyin kompozisyon içinde açılması ile düzenlenmektedir. Bu noktada esas alınması gereken denge düzeninin bozulmadan organizasyonun oluşturulmasıdır. Dolu-boş dengesi tek kütle kompozisyonlarında daha belirgin olarak algılanmaktadır.

Bu yöntemle beş tür kompozisyon yapılabilmektedir. Bunlar:

1. Tamamen dolu şekil 3'de görüldüğü gibi.(depolar, monoblok mobilyalar, tek kapalı kütle tasarımlar)



Şekil 3. Tamamen dolu kompozisyon örneği (Url-3)

2. Tamamen boş izlenimi veren şekil 4'de görüldüğü gibi şeffaf veya yansıtıcı yüzeyler ile oluşturulmuş tasarımlar. (cam cepheler, şeffaf mobilya tasarımları)



Şekil 4. Şeffaf oturma elemanı örneği (Url-4)

3. Doluluğun baskın olarak oluşturulduğu, şekil 5'te görüldüğü gibi boşluğun ise küçük parçalar ile sağlandığı tasarımlar. (pencerelerin olduğu cepheler, dolu yüzeylerinde küçük boşluklar açılarak, düzenlenmiş oturma elemanı veya boşluklu kapak yüzeyleri)



Şekil 5. Doluluğun baskın boşluğun küçük parçalar halinde sağlanması örneği (Url-5)

4. Düşey veya yatay hatların baskın olduğu şekil 6 ve 7'de görüldüğü gibi düzenlemeler



Şekil 6. Düşey hatların hâkim olduğu eleman örneği (Url-6)



Şekil 7. Şeffaf oturma elemanı örneği (Url-7)

5. Doluluk ve boşluğun şekil 8'de görüldüğü gibi özel biçimlerle birbirine bağlandığı düzenlemeler.



Şekil 8. Şeffaf oturma elemanı örneği(Url-8)

Dolu-boş düzenlemesi ile oluşturulan bu çözümlerinin her birisi simetri içerebilmektedir. Ayrıca kompozisyon dengesini kaybetmeyecek şekilde homojen (eş biçimlerden oluşan tekrar), armonik (farklı biçimlerden oluşan tekrarlar ile meydana gelen ritmik düzen) veya bu ilkelerin zıttı olacak şekilde düzenleme yapılabilmektedir.

2.1.2. Birden çok kütle ile Kompozisyon

Tek kütle kompozisyonlarının bir araya getirilmesi ile şekil 9'da görüldüğü gibi oluşturulan kompozisyonudur. Örnek olarak; yemek odası takım mobilyası verilebilir. Yemek masası, sandalyeleri, büfesi ve vitrininden oluşan takımın her bir ögesi kendi başlarına bir kompozisyon düzeninde kurgulanmış birimlerin bir düzen içinde ortak anlatım dilinde buluşturularak düzenlenmesi gibidir. Benzer bir şekilde yaşama mekânı veya salon düzenlemesinde üçlü koltuk tekli iki koltuk destekleyici sehpa ve orta sehpa düzenlenmesinde yine bu çok kütle kompozisyonu oluşturulmaktadır. Öğeler değişiklik gösterse dahi sistem kurgusu bu başlık altında toplanmaktadır.

Bu kompozisyon biçiminde de esas olan dengeli bir kurgu oluşturulmasıdır. Bir salon düzenlemesinde; üçlü bir koltuk büyük kütleli oluşturmaktadır. Bu büyük kütle ile birlikte kompozisyonun dengesini sağlamak için, iki daha küçük kütle (iki tekli koltuk), ana kütlelerin hemen karşısına yerleştirilerek konumlandırılabilir. Mimari tasarım örneği olarak; bir üniversite kampüsü verilebileceği gibi resim sanatında birden çok figürden oluşan eserler bu kompozisyon başlığı altında değerlendirilmektedir.



Şekil 9. Birden çok kütle kompozisyon örneği (Url-9)

Birden çok kütle ile yapılan kompozisyon düzenlemesinde kütlelerde eksilme olduğu takdirde kompozisyonun dengesi bozulacak değer kaybedecek ancak yok olmayacaktır.

Kompozisyon düzenlemelerinde eşit iki kütle kullanıldığında dengeli bir kurgu oluşturulmaktadır. Farklı boyutlarda veya görsel özelliklerde kütleler ile kompozisyon

oluşturulduğunda daha büyük olan veya baskın özellikte olan kompozisyonun hâkim ögesini oluşturmaktadır.

Birbiri ile eş öğeler kullanılarak; simetrik, homojen, ritmik ve armonik kompozisyonlar düzenlenmektedir. Farklı öğeler ile asimetrik, vurgulu ve zıt kompozisyonlar kurgulanabilmektedir.

2.1.2.1 Eşit Elemanlarla Kompozisyon:

Doğadaki pek çok çiçekte görülebilen bir kompozisyon biçimidir. Eşit yapraklar ve eşit orta çekirdek kısmına sahip çiçekler eşit elemanlar kompozisyonu oluşturmaktadır. Mobilyalarda, orta sehpalarda ve yemek masası ile çevresinde yer alan sandalyeler; bu kompozisyon biçimine örnek olarak gösterilebilmektedir. Bu birbirinin aynısı öğelerle oluşturulan kompozisyon biçimi aynı zamanda tasarım ilkesi olarak simetri, homojen ve uyumlu bir düzenleme oluşturulmasına da imkân sunmaktadır. Bu kompozisyon biçimi ile tek kütle ve çok kütleli kompozisyonları oluşturulabilmektedir.

Simetrik kompozisyon: Belirli bir yönde kütlelerin tamamını geçen bir aksa göre iki yönünde de bir yarımın aynı biçimlerin kullanılması ile oluşturulan kompozisyon biçimidir. Simetrik düzenleme sayesinde kompozisyonun bütünün algılanması kolaylaşmaktadır. Belirlenmiş aksa göre şekil 10 ve 11'de görüldüğü gibi bir yarımın algılanması geri kalan düzene hâkim olabilmek için gerekli bilgiye sahip olmayı sağlamaktadır. Bu sayede daha az yorucu ancak belirli bir süre sonrasında sıkıcılaşabilen bir düzenleme sunulmaktadır.



Şekil 10. Simetrik kompozisyon örneği (Url-10)



Şekil 11. Simetrik kompozisyon örneği (Url-11)

Canlı varlıkların ve insanların bedensel sistemleri simetrikdir. Bu nedenle kullanıcı üzerinde denge, güç, sağlık ve dayanıklılık hissi oluşturmaktadır. Algılama açısından kolaylık sağlayan bu düzenleme güven etkisi ile iç mekânların düzenlenmesinde tercih edilmektedir. Tarihi devlet yapılarında yarattığı güvenilirlik ve sağlık hissi nedeni ile baskın olarak kullanılmıştır.

Homojen kompozisyon: Aynı biçimin tekrarı ile elde edilen şekil 12 ve 13'de görüldüğü gibi bir kompozisyon biçimidir. Kendi içinde bir ritim oluşturmaktadır. Ancak tekdüzelige ve belirli bir süre sonrasında sıkıcı bir etkiye neden olabilmektedir. Biçimler ile sağlanabildiği gibi renk ve dokular ile de homojen bir kompozisyon elde edilebilmektedir.



Şekil 12. Homojen kompozisyon örneği (Url-12)



Şekil 13. Homojen kompozisyon örneği (Url-13)

Armonik kompozisyon: Biçimlerle, renk ve dokularla oluşturulabilen bir yöntemdir. Armonik kompozisyonda da tekrar oluşturulmaktadır ancak bu kompozisyon biçiminde tekrar eden biçimler şekil 14'de görüldüğü gibi benzer formdadır. Homojen kompozisyondaki gibi aynı biçimlerin tekrarı şeklinde değildir.



Şekil 14. Armonik kompozisyon örneği (Url-14)

Benzer formların, dokuların ve renklerin tekrarı ile oluşturulmak amaçlanan etki çoğalmakta ve bütüne yayılmaktadır.

Zıt renklerle dahi oluşturulmuş olsa şekil 15'de görüldüğü gibi aynı desenin tekrarı ile oluşturulmuş bir kumaş, halı veya yüzey homojendir. Renklerin zıt oluşu biçimlerdeki benzerliğin önüne geçmemektedir. Renklerdeki zıtlık dışında bir uyum elde edilecek şekilde biçimler seçildiğinde armonik kompozisyon oluşturulmaktadır.



Şekil 15. Armonik kompozisyon örneği (Url-15)

2.1.2.2 Farklı Öğelerle Kompozisyon:

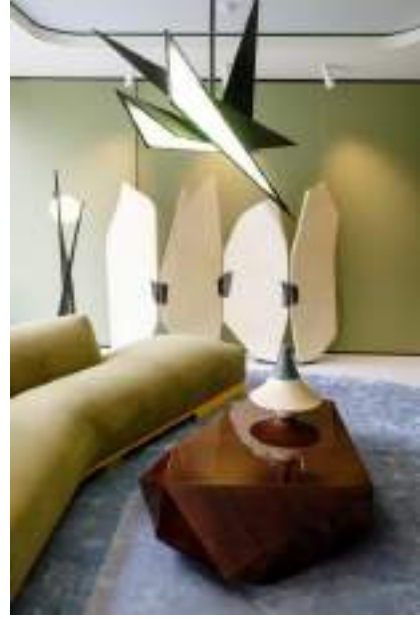
Bir çalışma masası, bir sandalye veya bir tabure farklı öğelerin bir araya gelmesi ile oluştukları için bunlar farklı öğeler kompozisyonu oluştururlar. Ayaklar, yüzey ve bağlantı parçaları farklı parçalardır ve bir araya geldiklerinde farklı öğeler kompozisyonu oluşturmaktadırlar. İnsan bedeni de benzer bir şekilde; kolları, bacakları, bedeni ve başı ile farklı öğeler kompozisyonudur.

Bu kompozisyon biçimi ile tasarım ilkesi olarak asimetrik, zıt, dominant öğeli veya vurgu noktali kompozisyonlar düzenlenebilmektedir.

Asimetrik kompozisyon: Biçimler ve düzenlenmelerine göre oluşturulan bir yöntemdir. Simetrik düzenlemede kendiliğinden oluşan denge asimetrik düzenlemede içinde özellikli bir kurgulama gerektirmektedir. Bu kurgu zorlayıcı olsa dahi ortaya çıkan düzen simetrik düzene göre daha dinamik ve algı açısından daha ilgi çekici sonuçlar şekil 16 ve 17'de görüldüğü gibi oluşturmaktadır. Bir çeşit simetrinin alışılmışlığından ve zamanla oluşturduğu sıkıcı etkiden kurtulmak amacı ile ortaya konulmuş bir düzenleme yöntemidir.



Şekil 16. Asimetrik kompozisyon örneği (Url-16)



Şekil 17. Asimetrik kompozisyon örneği (Url-17)

Asimetrik kompozisyon kurgusu ile iç mekân düzenlemesinde farklı fonksiyonlar için farklı mekânlar oluşturulabilmektedir.

Bu düzenleme sisteminde kurgunun kolay oluşturulmasında (farklı biçim ve boyuttaki öğeleri uygun şekilde birbirine bağlamak için) destekleyici tasarım ilkeleri armoni ve zıtlıktır.

Dominant öğe kompozisyonu: Bir ana öğe, şekil 18'de görüldüğü gibi oluşturulması ile düzenlenmektedir. İnsanın beden kompozisyonunun başı ve bir bitkinin çiçeği dominant elemanı oluşturmaktadır. Bir okul yapısında konferans ve etkinliklerin düzenlendiği salon ve bir yemek odası takımının yemek masası veya bir oturma odasının üçlü koltuğu dominant elemanı oluşturmaktadır.

Bu kompozisyon tipinde algılanan ilk eleman ve mobilyaya veya iç mekâna işlevini veren, yaşamsal önemi üstlenen öğe dominant öğedir.



Şekil 18. Dominant öğe kompozisyonu örneği (Url-18)

Tek kütleli oluşturulan düzenlemelerin dominant elemanı şekil 19'da görüldüğü gibi bu kütleli. Çok kütleli düzenlemelerde baskın olan, ilk algılanan ve ana işlevi yansıtan öge dominant elemandır.



Şekil 19. Dominant öge kompozisyonu örneği (Url-19)

Zıt öğeler kompozisyonu: Asimetrik kompozisyonlar gibi zıt öğelerle kompozisyon oluşturmak, armonik (benzer biçimlerle oluşturulan kompozisyon) kompozisyon oluşturmaktan ve dengeli bir düzenleme oluşturmak açısından daha zordur. Ancak asimetrik kompozisyonlar gibi daha dinamik ve dikkat çekici kurgular oluşturulabilmektedir.

Birbirinden farklı biçimlerle veya renklerle oluşturulan değişik işlevlerdeki ve boyuttaki mekânlar veya yüzeyler ile şekil 20'de görüldüğü gibi zıt kompozisyonlar oluşturulabilmektedir. Bu zıtlık etkisi ortadan kaldırılıp biçimler ve renklerde benzerlik sağlandığında armonik kompozisyon oluşmaktadır.



Şekil 20. Zıt öğeler kompozisyonu örneği (Url-20)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu aşamaya kadar üç olgu ile oluşturulan kompozisyon sistemleri, onların mekân ve mobilya düzenlenmesindeki yansımaları incelenmiştir. Bu aşamada aktarılmış olan kompozisyon kuralları çerçevesinde oluşturulacak düzenlemelerde tasarlamaya yol gösterici olabilecek ve dikkat edilmesi gerekli ilişkiler sunulmuştur.

3.1. Biçimsel İlişki

Biçimsel kişilikleri açısından aynı güce sahip, birbirlerine benzer yakın veya benzeri detaylara sahip baskın mobilyalar bir arada kullanılmamalıdır. İkonik olarak adlandırılabilen tasarlandıkları döneme üslup kazandırmış, simgeleşmiş bu mobilyalar kendi başlarına buldukları mekânda adeta bir heykel, sanat eseri gibi ilgi odağı oluşturarak dikkat merkezi haline geleceklerdir. Bu nedenle farklı ikonik tasarımların aynı mekân içinde birbirlerine yakın kullanımları görsel olarak karmaşa oluşmasına neden olacaktır. Baskın boyut ve yönlendirme etkisine sahip mobilyaların yine aynı şekilde yan yana kullanımı veya yakın ilişki içinde olmaları mekân içinde karmaşaya neden olmaktadır.

Benzer bir şekilde mekân içindeki biçimleri ve özellikleri aynı olan mobilyalar etkinliklerini kaybedecektir. Bu düzenlemede amaç, vurucu noktaları oluşturan özellikli mobilyaların belirginleştirilmesi ve mekânın karakteristik özelliklerine dair bilgiyi sunacak olan bu mobilyaların diğer mobilyalarla karışmadan kendilerini ön plana çıkartabilmelerinin sağlanmasıdır. Homojen bir kompozisyon kurgusu önceden bahsedildiği gibi aynı formların tekrarı, mekân içinde oluşturulmak istenen etkinliğin bastırılmasına neden olabilmektedir. Armonik bir düzenleme ve belirli noktalarda devreye girecek vurucu noktalarla uyumlu, dingin ve dengeli bir düzenleme oluşturulabilmektedir. Mekânın fonksiyonuna bağlı olarak zıtlıklar ve vurucu noktaların artırılması ile iç mekânda elde edilmek istenen dinamik etki daha baskın şekilde oluşturulabilmektedir.

Biçimsel ilişkiler açısından bir diğer dikkat edilmesi gereken husus bir arada kullanımlara imkân sunan mobilyalarda birbirini tamamlamayan biçimler bir arada kullanılmamalıdır. Bir restoran iç mekanında veya bir fuaye alanında kullanılacak masalar gerektiğinde bir araya getirilerek daha kalabalık gruplara hizmet edebilmektedir. Bu tip durumlar için kare veya dikdörtgen masalar bu düzenleme için uygun seçimler olacaktır. Diğer bir deyişle bir restoran veya kafenin iç mekânında kare ve yuvarlak masaların bir arada kullanımı kalabalık kullanıcı grupları açısından yan yana birleştirildiğinde rahatsızlık verecek düzenlemeler oluşturulmasına neden olacaktır. Konut iç mekânlarında hizmet-servis elemanları, işlev baskın özellikte seçilmeyebilmektedir. Bu iç mekânların öğelerinin seçiminde estetik işlevi baskın tercihler ön plana çıkabilmektedir. Bu nedenle bir arada kullanımda meydana gelecek sıkıntıların nadiren yaşanması ve asıl olanın görsel etki olması nedeniyle biçimsel farklılıklar bu tip iç mekân kurgularında sorun oluşturmamaktadır.

Bir diğer husus; tüm yönleri etkin olmayan yan yana getirildiğinde bir sıralı sistem oluşturan mobilyalarla yapılabilen düzenleme yöntemidir (Önder,1989). Merkez bir noktadan dışa doğru açılarak oluşturulan oturma birimleri (dilimlenmiş

yuvarlak bir pasta gibi), sıralı bekleme koltukları ve kütüphaneler bu grup içinde sayılabilmektedir. Bu sıralı mobilya grupları, modüler sistemler olarak da tanımlanmaktadır, peşisıra dizilerek sıralı, bütünsel ve düzenli çözümler yapılabilmektedir.

3.2. Mekân Organizasyonunda Düzen

Mobilyalar, mekân organizasyonunda kullanılan öğeler, temellerinde geometrik biçimlerden dönüştürülmüştür. Bir küpten, bir silindirden, koniden veya bir dikdörtgen prizmadan çıkartılan parçalar ile oluşturulmaktadır.

Mekân içindeki ve algılamadaki etkileri aslında bu meydana getirildikleri geometrik biçimdir. Mekân organizasyonunda seçilecek mobilyaların her birinin farklı seçimi (sadece zıt öğelerin kullanımı ile oluşturulan kompozisyon) mekân içinde kargaşa oluşturacaktır. Bu nedenle bir biçim, baskın tutulmalı ve öncelik tanınmalıdır. Bu baskın olan biçim mekânda oluşturulmak istenen karakteristik özelliği ön plana çıkartacaktır.

İç mekân tefriş yerleşiminde, kompozisyon kurgularında, armonik veya homojen bir düzen tercih edilmelidir. Biçimsel farklılık sağlanarak; iç mekânın etkisinin daha hareketli ve dikkat çekici olabilmesi için bir veya birkaç öğe seçilerek (dominant öğe kompozisyonu) vurgu noktalarının oluşturulması ile daha dinamik bir organizasyon sağlayacaktır.

3.3. Ortak- Benzer Nitelikler ve Modülerlik

Mobilyalar ve bir dizi araç, insanların eylemlerini karşılamak için bir çevre içinde kurgulanmaktadır. Bu çevre çeşitli tekil veya çoğul işlevler üstlenebilmektedir. Bu çevrenin düzenlenişinde ortak nitelikler taşıyan mobilyalar seçilmediği takdirde; yorucu, anlamsız, bütünlük içermeyen, beğeni sağlamayan bir iç mekân ortaya çıkacaktır. Bu nedenle seçimlerde sağlanacak benzer nitelikler ile kurgu oluşturmak gerekmektedir. Bu benzerlikler:

- Dönem benzerliği
- Üslup benzerliği
- Renk, doku, malzeme benzerliği
- Biçimsel benzerlik
- İşlev benzerliği
- Alışkanlıklar, adetler gibi kullanıcının etkin olduğu benzerlikler (Önder,1989).

Kompozisyon kuralları çerçevesinde kurgulanan iç mekânların, donatılmasında tercih edilecek mobilyalar açısından bu benzer nitelikler gözönünde bulundurulduğunda kullanıcıların beklentileri, ihtiyaçları ve uzun dönem ciddi değişikliklere ihtiyaç kalmayan, zamansız mekânlar oluşturmak mümkündür.

Modülerlik; gelişecek ihtiyaçlara göre çoğalabilme veya eksilebilme, kendi içinde sağladığı dengesiz kurgu ile kullanıcılar arasındaki farklı ölçü ve konfigürasyon beklentilerine cevap verebilme, kısa sürede hızlı üretim ve kullanıcının ürüne rahat ulaşabilmesi, daha ekonomik çözümler sağlama, kolay paketleme, nakliye ve kimi zaman kullanıcının da montaj aşamasına dahil edilebildiği kolay ve hızlı montaj süreci, standart ürün ortaya konması sayesinde değişen ihtiyaçlara göre modül arttırımına gidildiğinde aynı kalitedeki aynı ürüne sahip olabileceği gibi özellikleri sayesinde şekil 21 ve 22'de görüldüğü gibi iç mekan tefriş düzenlemelerinde tercih edilmekte ve giderek yaygınlaşmaktadır.

Modüler üretimler mutfaklarda, giyinme dolaplarında, tv ünitesi ve kitaplık kompozisyonlarında kullanılan bir yöntemdir. Standart bir ana modül ölçüsünün katlarından oluşturulan modül konfigürasyonları ile oluşturulan kompozisyonlar sağlamlık, denge ve güven hissi oluşturmaktadır.



Şekil 21. Modülerlik örneği (Url-21)



Şekil 22. Modülerlik örneği (Url-22)

4. Sonuç

Doğanın en iyi örneklerini sunduğu, öncülük ettiği, denge ve kompozisyon kuralları; tasarlanan tüm öğeler için bir kılavuz niteliğindedir. Sanattan, tasarıma doğanın sunduğu dokular yapılar ve biçimler halen çeşitli alanlarda; öneriler, çözümler ve daha iyinin daha dayanıklının ve daha sağlıklıının tasarlanması için öncülük etmektedir.

Doğadaki canlı varlıklardan biri olan insan kendi yapısı gereği; öğrendiği, gördüğü, deneyimlediği ve kültürüne yerleştirdiği bu kodları mekân kurgularında ve onları donattığı öğelerinde kullanmaktadır. Bu sayede kendi yapısı ile uyumlu ve herşeyin öncesinde dengeli bir kurgu oluşturmaktadır. Denge

insanın bedenindeki gibi insanın yaşadığı mekânlar açısından da önem arz etmektedir. Huzursuzluk veren, renklerin doğru seçilmediği, iç mekândaki mobilyaların rahatsız ve kullanışsız olduğu, bir mekân, kullanıcıyı olumsuz olarak etkileyecek önce psikolojik yapısında sonrasında fizyolojik yapısında problemlere neden olacaktır. İç mekândaki denge unsuru önce yerleşimin en iyi şekilde çözümlenmesinde sonrasında da kullanıcının sağlığı açısından düzenleme aşamasında kompozisyon kuralları ve kuralları ile sağlanmalıdır.

Bu kurallar ve öneriler çevrevesinde kurgulanan mekânlar işlevlerine göre kullanıcının konfor beklentilerini ve ihtiyaçlarını sağlamakta, çalışma alanlarında verimliliği artırmaktadır.

Mobilyalar kullanıcının mekânında; beklentisini, mekâna yüklenen işlevsel özellikleri sağlayarak, yetemediği noktalarda kullanıcıyı destekleyerek, ona görsel anlamda güzellik veya moral değerler sunacak şekilde şekil 23'de görüldüğü gibi görev yapmaktadır.



Şekil 23. İç mekân düzenlemesi örneği (Url-23)

Mobilyaların biçimlenişlerinde ve mekân içindeki konumlanışlarında kullanıcının ihtiyaç ve taleplerine en iyi şekilde cevap verilebilmesi için kurgulama aşamasında kaynağını doğadaki düzenlenişten alan ve aşağıda başlıklar halinde sunulmuş olan kurallar çerçevesinde hem öğelerin kendilerinin, hem öğeler arasındaki ilişkilerin hemde öğeleri çevreleyen mekân ile ilişkilerin düzenlenmesi gerekmektedir. Düzenleme, kurgulama ve biçimlendirme aşamalarında öğeler, öğeler arası ilişkiler ve öğe içi düzen çözümleri yapılarak

ilerlenmesi

gerekmektedir.

	Ortak benzer nitelikler ve motiflilik	Mekân organizasyonunun düzeni	Ekşimel ilişki
Tek kütle kompozisyonu	Dolu-boş dengesi	Dolu-boş dengesi	Dolu-boş dengesi
Birden çok kütle kompozisyonu	Dolu-boş dengesi	Eşit elemanlarla kompozisyon	Eşit elemanlarla kompozisyon
	Dolu-boş dengesi	Farklı elemanlarla kompozisyon	Farklı elemanlarla kompozisyon

Tablo 1. Kompozisyon yöntemleri tablosu

Birden çok kütle kompozisyonu			
Eşit elemanlarla kompozisyon	Simetrik	Homojen	Armonik
Farklı elemanlarla kompozisyon	Asimetrik	Dominant öğe	Zıt öğeler

Tablo 2. Birden çok kütle ile oluşturulabilecek kompozisyon başlıkları

Sonuç olarak yukarıda belirtilen başlıklar çevrevesinde yapılacak kurgu ve düzenlemeler kullanıcı için en uygun şartların oluşmasını sağlamaktadır. İşlevin belirlenmesi ile başlayan tasarlama süreci bu kurallar ve tasarım ilkelerinin desteği ile hayata geçirilebilmektedir. Yukarıda verilen başlıklar ve açıklamaları ile mobilya- mobilya ve mobilya- mekân ilişkisinde, uyumlu, dengeli kurguların oluşturulmasında kılavuzluk edebilecek çözümler, açıklamalar ve örnekler sunulmuştur.

Kaynakça

- Ash, D., Brunhammer, Y., Buffet-Challié, L., Butler, T. J., Ciechanowiecki, A., Christie, A., Coleridge, A., Grandjean, S., Handley-read, C., Harris, R. J., Hayward, H., Hillier, J., Honour, H., Hunt, J., Huth, H., Joy, E.T., Liversidge, J., Maszkowsak, B., Medley, M., Meister, W. P., Musgrave, C., Scheurleer, Th. H. L., Schefer, H., Smith, C. R., Thorton, P. "World Furniture", Leefung-Asco basımevi, The Hamlyn Publishing Group Limited yayınevi, ISBN NO: 0600039552, 1965, İngiltere
- Baudrillard, J. 2011 Nesnel Sistem. (O. Adanır. ve A. Karamollaoğlu, Çev.). Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul
- Berkin, G., Özcan, U., (2017), "Oturmanın Ergonomisi", Yapı Dergisi (ISSN: 1300-3437, DAAI-Design and Applied Arts Index), Sayı: 426, s:140.
- Boyla, O., 2016. Mobilya Tarihi. <http://www.youblisher.com/p/589306-Mobilya-Tarihiekıtaplarım-tr-gg/> (E.T.: 04.04.2016)
- Güner, B. N., 1989 "Fonksiyonun Forma Etkisi ve Etkisizliği" Yayımlanmamış Profesörlük Çalışması, İstanbul
- Hinchman, M. "History of Furniture: A Global View", 1 Eylül 2010, 1. Baskı, Fairchild Books, ISBN 13: 9781563675447, Amerika Birleşik Devletleri.

- Küçükerman, Ö. 1971."Kişi-Çevre İlişkilerinde Çağdaş Gelişimler ve Oturma Eylemi" (Doçentlik Tezi), İstanbul Devlet Güzel Sanatlar Akademisi, İstanbul
- Önder, T., 1998. Dr. Öğr. Üyesi Önder Turan'a ait (Güz yarıyılı) Mobilya Tasarımı Ders Notları (Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi) İstanbul.
- Önder, T., 1989. "Mekân Örgütlenmesi açısından Mobilya Mobilya İlişkileri". Antik&Decor dergisi Antika, Dekorasyon Ve Sanat Dergisi, sayı:1,ss: 24-26.
- Önder, T., 1989. "Tanım-Tasarım-Yapım-Tüketim açısından Mobilya %...". Antik&Decor dergisi Antika, Dekorasyon Ve Sanat Dergisi, sayı:2,ss: 22-24.
- Özel, Y., Ürük, Z.F, "Use of Plastic Materials in Furniture Design and Production", International Journal of International Journal of Advanced Research and Review, Yıl:4, sayı:1, Ocak 2019, ss. 1-13, ISSN NO: 2455-7277
- Özel, Y. Ürük, Z.F, "Mobilya- Biçim- Tercih", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Nisan 2021, sayı:23, ss. 589 -600, ISSN NO: 2148-2683, DOI: 10.31590/ejosat.888726
- Söğüt. M. A., 2004. "Oturma elemanın tasarımı strüktür ve yüzey kaplama malzemesinin biçime etkisi", Sanatta Yeterlilik Tezi. İstanbul. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Suri. L., 2020. "Değişim Sürecinde Konut ve Çevre İlişkileri". Journal of Strategic Research in Social Science, 6(1), 51-64., Doi: 10.26579/josr.107 (Yayın No: 6302048)
- Suri. L., 2020. "Uygulama Süreci ve Uygulama Aracı Seçiminde Etkin Kriterler". Journal of Strategic Research in Social Science, 6(1), 45-62., Doi: 10.26579/jocrest.55 (Yayın No: 6302099)
- Toka, C. 1978. "İnsan Araç Bağlantısında Ergonomik Tasarım İlkeleri". Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. İstanbul Güzel Sanatlar Akademisi. İç Mimarlık ve Endüstri Tasarımı Kürsüsü
- Url-1: <https://www.thepinnaclelist.com/design/penthouse-interior-design-los-angeles-ca-usa-georgios-tataridis/attachment/001-penthouse-interior-design-los-angeles-ca-usa-georgios-tataridis/> (E.T.: 01.03.2021)
- Url-2: <https://tr.pinterest.com/pin/408772103673632013/> (E.T.: 10.03.2013)
- Url-3: <https://www.sohomod.com/blog/qtz-lounge-chair-concept-by-alexander-lotersztain-for-derlot/?epik=dj0yJnU9emRObk9pV3RZQk9sYXBMM2dL YWVYb3ZldVp0UGh2UWEmcD0wJm49Qk9Hc2FnUtp NGc2YU1qM0JmekxUUSZ0PUFBQUFBFR0NFV2JF> (E.T.: 15.04.2015)
- Url-4: <https://www.architecturaldigest.com/gallery/kara-mann-chicago-apartment#1> (E.T.: 24.07.2018)
- Url-5: <https://tr.pinterest.com/pin/448530444142843843/>
- Url-6: <https://tr.pinterest.com/pin/15410823708893003/>
- Url-7: <https://tr.pinterest.com/pin/508977195358287357/>
- Url-8: <https://tr.pinterest.com/pin/54395107988388209/>
- Url-9: <https://www.digsdigs.com/curved-sofas-to-make-a-statement/> (E.T.:22.04.2021)
- Url-10: <https://tr.pinterest.com/pin/470485492307863047/>
- Url-11: <https://tr.pinterest.com/pin/84864774215730566/>
- Url-12: <https://visi.co.za/iconic-designs-roche-bobois-bubble-collection/> (E.T.:22.08.2018)
- Url-13: <https://www.eclectictrends.com/3-color-trends-2018-by-alcro/> (E.T.: 08.11.2017)
- Url-14: <https://3dkonut.com/merdiven-kitaplik-tasarimlari/resim-galerisi> (E.T.:20.04.2021)
- Url-15: <https://casavogue.globo.com/Design/Moveis/noticia/2019/01/6-estantes-e-organizadores-criativos-para-deixar-casa-em-ordem-com-estilo.html> (E.T.:06.01.2019)
- Url-16: https://www.touchedinteriors.co.uk/buy/swirl-gauche-chaise-longue-sofa_5413.htm (E.T.: 22.06.2021)
- Url-17: <https://www.wallpaper.com/design/achille-salvagni-launches-a-study-in-green-at-london-atelier#179538> (E.T.: 8.10.2016)
- Url-18: <https://tr.pinterest.com/pin/322077810839000377/> (E.T.:10.08.2012)
- Url-19: <https://www.designboom.com/design/marc-ange-peacock-chair-collection-visionnaire-design-miami-12-06-2019/>
- Url-20: <https://tr.pinterest.com/pin/319192692386877420/> (E.T.:12.06.2019)
- Url-21: <https://moroso.it/prodotti/do-lo-rez-divani/?lang=en> (E.T.:18.05.2020)
- Url-22: <https://dornob.com/tessellating-black-blocks-create-free-form-furniture/> (E.T.:05. 07.2013)
- Url-23: <https://tr.pinterest.com/pin/7951736831629662/>



Ulusal Enerji Politikaları Üzerine Bir İncelenme ve Bunun Ulaşım Kararlarına Etkisi

Namık Ak^{1*}, Mehmet Çağrı Kızıldaş²

¹ Bandırma On yedi Eylül Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Balıkesir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9119-1567)

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-9428)

(İlk Geliş Tarihi 11 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 1 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.835771)

ATIF/REFERENCE: Ak, N. & Kızıldaş, M. Ç. (2021). Ulusal Enerji Politikaları Üzerine Bir İncelenme ve Bunun Ulaşım Kararlarına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 105-111.

Öz

Enerji ve ulaşım birbirini etkileyen karşılıklı bir ilişkiye sahiptir. Günümüzde enerji gereksinimi ülkelerin ve toplumların ekonomisi, hayat kalitesi ve politikalarında önemli bir belirleyiciliğe sahiptir. Enerji gereksinimi içerisinde ulaşım kaynaklı talep ise başat bir yere ve role sahiptir. Karayolları halen dünyadaki en baskın ulaşım türüdür. Karayolunda petrol tüketimi had safhadadır. Bunun birçok büyük ekonomik, sosyal, teknik, kültürel ve politik etkisi söz konusu olmaktadır. Enerji tüketiminin çevresel sonuçları ise bir başka önemli hususu teşkil etmektedir. Bir diğer önemli husus ise kullanılan enerjinin ne ölçüde yerli olarak karşılandığıdır. Bu özellikle ekonomik açıdan oldukça ana bir etkidir. Enerji ve ulaşım ilişkisinin dengesinin kurulduğu bir yerde kent de ulaşım sistemi de etkin ve verimli bir şekilde işletilebilir olmaktadır. Bu da kentsel gelişim, ulusal kalkınma ve bölgesel dengeye hizmet edebilecek ölçüde önemli bir konuyu teşkil etmektedir. Kalkınmanın ivmeli bir şekilde gerçekleşebilmesinde ülkede yıllık enerji gereksiniminin nasıl karşılandığı ve enerji tüketiminin nasıl gerçekleştiği oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu bağlamda yenilikçi teknolojilerden faydalanılıp üretimin teşvik edilmesinin ciddi kazanımları olacaktır. Enerji politikalarında bağımsızlaşan bir Türkiye, aynı zamanda enerji geçişlerindeki pozisyonunun iyi kullanır ise uzun vadeli 10 yıllık planlarını bu kapsamda daha da odaklı bir şekilde gerçekleştirebilecektir. Buna bağlı olarak da şu ana kadar gerçekleştirilen büyük ulaşım projelerinden daha etkin bir şekilde fayda temin edilecektir. Bu çalışmada ilk olarak İstanbul ilinin genel durumu ortaya konmuş olup ulaşım ve ilgili konularla ilişkisi irdelenmiştir. Ardından uluslararası örnekler Nijerya başta olmak üzere detaylı değerlendirilmiştir. Sonrasında İstanbul merkezli olarak büyük kentlerde ulaşım ve enerji ilişkisine değinilmiştir. Bu kapsamda sonuç olarak İstanbul için ulaşımda enerji verimliliği ve tasarrufunun temini adına dengeli türel dağılım ve türler arası entegrasyonun kısa ve orta vadede en etkin çözüm ve yöntem olduğu açıkça görülmektedir. Demiryollarına son yıllarda yapılan büyük yatırımların petrole bağımlılığı azaltması bağlamındaki önemi de ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım kararları, enerji, entegrasyon

A Review of National Energy Policies and Its Effects on Transportation Decisions

Abstract

Energy and transport have a mutual and effective interaction with each other. Today energy need has a significant decisiveness in economies, life quality and policies of countries and societies. Transportation demand on energy need has a major role and position. Highway is still most dominant transport mode in the world. Petroleum consumption on highway is on high levels. Many social, cultural, technical, economical and political effects of these are exist. Environmental results of energy consumption are another important issue. Another important issue is internal supplying rate of this consumption. Thus especially has a very major effect in terms of economy. At a point which is established the balance between energy and transport, urban and transport system can be operated effective and efficiently. This is as important as a service ability for national development, regional balance and urban improvement. At

* Sorumlu Yazar: Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Balıkesir, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9119-1567, dr.akhoca@gmail.com

realizing of development effectively, energy need supplying regime and energy consumption regime are very significant. In this context there are serious gains on national production and innovative technologies. If Turkey become more independent on energy and use well its location for energy, 10-year period plans are established more focused. So big transport projects of Turkey can give more benefit by effectively. In this paper firstly general case of Istanbul is revealed that its relations with transportation and related issues are examined. Then international samples especially Nigeria are expressed in detail. After these, transportation and energy relation for mega cities on focus of Istanbul is reviewed. Lastly on this context for providing energy efficiency and save for transportation of Istanbul, it is clearly seen that balanced modal distribution and intermodal integration are the most effective solution and method in short medium term. Importance of huge investments on railways in last years on the context of decreasing on dependence of petroleum is revealed.

Keywords: Transportation decisions, energy, integration

1. Giriş

Ulaştırma ve enerji arasındaki ilişki doğrudan ve karşılıklı bir özelliğe sahiptir. Ulaştırma planlamasında enerji politikalarının uzun vadeli ve derinlikli sonuçları bulunmaktadır. Türkiye’de enerji politikaları hassas çizgiler üzerinde oluşmaktadır. Ama öte yandan ise ulaşırmada son yarım asır içerisinde karayollarının dengesiz ağırlığı günden güne artarken otomobile ve dolayısı ile petrole olan bağımlılık katlanarak yükselmiştir. Son 20 yılda hem Türkiye genelinde hem de İstanbul özelinde yapılan çalışmalar ve bu bağlamda gerçekleştirilmekte olan ulaştırma yatırımları, ulaştırma ve enerji arasındaki ilişkiyi daha doğru bir çizgi üzerinde yürütmeye başlamıştır.

Marmaray, İstanbul gibi bir mega kentin ulaştırma sistemi ve trafik durumu çerçevesinde kent içi raylı sistem hatlarının, metronun ve yüksek hızlı tren hatlarının bağlandığı ve birleştiği bir hat yatırımdır. Bu anlamda son dönemde İstanbul’da hafif raylı, ağır raylı ve metro yatırımlarının gerçekleştirilmesinde ciddi bir sıçrama gerçekleşmiş olup ilk etapta 40 kilometre toplam uzunluğundaki ağ 140 kilometreye ulaşmış, 2.etapta ise 250 kilometre değerine yaklaşmıştır [1]. Akabinde ise Kadıköy-Kartal metrosunun tamamlanmasından sonra bu hat Pendik ve ötesine taşınmış ve çalışmalar sürdürülmüş, Üsküdar-Ümraniye etabı bitirilen diğer bir Anadolu yakası hattının ise Ümraniye-Çekmeköy etabı da tamamlanmıştır. Hâlihazırda bu hatta Çekmeköy-Sancaktepe etabının inşa çalışmaları sürdürülmektedir. Kadıköy-Pendik metrosu nihai olarak Sabiha Gökçen Havalimanına bağlanacaktır, Ankara-Eskişehir-İstanbul yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı ise Pendik üzerinden, tam kapasite Marmaray ile bağlanmış durumdadır.

Tablo 1’de görüldüğü gibi 1970’ten bugüne İstanbul nüfusu 4-5 katının üzerinde artışlar kaydetmiştir. Aynı dönemde özel araç sayısı ise söz konusu kent için nüfusun artışının da kat kat üzerinde bir artış meydana getirmiştir ve söz konusu yıllar periyodunda 30 katın üzerine çıkan bir özel araç sahipliği ortaya çıkmıştır [1]. Araç sahipliğindeki bu katlanmanın nüfus artışının dahi bu denli önüne çıkması ise tüketim ve gündelik kültürdeki değişimler, karayolu türünün hem ulaşımın genelinde ve hem de toplu ulaşırmada ağırlığının artması ve de Gayri Safi Milli Hasıla’daki (GSMH) büyüme ile ilgilidir. Mega kent İstanbul hem demografik ve sosyal-ekonomik karakteri itibariyle ve hem de ulaşım bağlamında oldukça etkili ve süratli bir değişim ve dönüşüme maruz kalmıştır. İstanbul’da dış göçten ötürü nüfus artışındaki hız ve bunun nihayetinde kentleşme ve konutlaşmadaki hızlı büyüme ve son olarak da sürekli artan bir ulaştırma talep ihtiyacı bir gerçeklik olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 1. İstanbul’da Yıllara Göre Asya-Avrupa Yakaları İstihdam Dağılımı ve İstanbul’un Nüfus, Otomobil Sayısı Değerleri [1]

İstanbul	1970	1980	2000
Nüfus	3.500.000	4.800.000	12.900.000
Özel Otomobil Sayısı	60.000	200.000	1.800.000
Kişi Başına Düşen Özel Otomobil	0,017	0,042	0,140
Avrupa Yakası İstihdam Oranı	%80	%77	%71
Asya Yakası İstihdam Oranı	%20	%23	%29

2015 yılı sonu itibariyle İstanbul’un nüfusu 14.657.434 kişidir. 2019 sonu itibari ile ise kentin nüfusu 15.468.919 kişidir. Aşağıda Tablo 2’de İstanbul’un yıllara göre göç istatistikleri verilmiştir. Değerler 2007-2015 ve 2017-2018 arasını kapsamaktadır. 2018 yılında bir kırılma olduğu görülmektedir. Ancak bu lokal bir eğilimdir [2]. Buradan da anlaşıldığı üzere kentin nüfus büyüme ivmesinde yakın senelerde bir azalma ortaya çıkmakta olup öte taraftan ise genel olarak yüksek hacimli nüfus büyümesinin ise sürdüğü anlaşılmaktadır. Avrupa ve Anadolu yakasının alana göre oranlı dağılımlarının nüfus oranlarındaki ağırlıklı dağılımla da tutarlı ve benzer olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 2. İstanbul Göç Verileri [2]

Dönem	Aldığı göç hızı (%)	Verdiği göç	Net göç	Net göç hızı (%)
2007-2008	374.868	348.193	26.675	2,1
2008-2009	388.467	348.986	39.481	3,1
2009-2010	439.515	336.932	102.583	7,8
2010-2011	450.445	328.663	121.782	9,0
2011-2012	384.535	354.074	30.461	2,2
2012-2013	437.922	371.601	66.321	4,69
2013-2014	438.998	424.662	14.336	1,0
2014-2015	453.407	402.864	50.543	3,5
2017-2018	385.482	595.803	-210.321	-13,9

Bu anlamda ilk olarak 15 Temmuz şehitler köprüsünün yapımı akabinde Altunizade ve çevresinin gelişim aşamaları ivmelenmiştir, sonrasında metrobüsle birlikte ana istasyon özelliğine sahip yerleşimlerden birisi de olmuştur ve nihayetinde ilgili kent içi ulaşım yatırımları bağlamında da merkezi özelliği ve arazi değerleri iyice artış göstermiştir. Sonrasında ise Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metrosunun kademeli inşasının tamamlanması ve bu hattın Çekmeköy-Sancaktepe etabının sürdürülmesi ile birlikte Altunizade’nin bu özellikleri daha da tahkim olma meyline girmiş bir durumdadır.

Ülkemizde demiryolu ulaştırma türü son 20 yıl içerisinde tekrardan ivmeli bir gelişim içerisine girmiştir. Bunda birçok neden söz konusudur. Demiryolları; çevreci, yüksek kapasiteli, az yer kaplayan ve enerji verimli bir ulaştırma türüdür. Özellikle büyükşehirlerde metro başta olmak üzere kent içi raylı sistem yatırımlarının hummalı bir şekilde arttırılmaya çalışıldığı görülmektedir. Türkiye’de otomobil sahipliği son 40 yılda katlanarak artmıştır. İstanbul başta olmak üzere büyükşehirlerde ciddi bir nüfus artışı kaydedilmiştir ancak otomobil sahipliğindeki artış ise bunun bile birkaç katı düzeyinde gerçekleşmiştir. Öte yandan ülkemiz petrol fakiri bir ülkedir. Otomotiv sektörü de batılı ülkelere nazaran gelişmemiştir. Ancak otomobil bağımlılığı ulaşım sisteminde günden güne artmaktadır. Bu; sürdürülebilir bir durum değildir. Trafik tıkanıklığı, çevresel koşullar, zaman kaybı ve trafik güvenliği açısından sürdürülebilir değildir. Ancak en önemlisi de enerji verimliliği ve enerji maliyetleri açısından sürdürülebilir değildir. Dolayısı ile enerji temin ve stoğundaki mevcut durumun ulaştırma kararlarını nasıl etkileyebileceği oldukça açıktır. Öte yandan ulaştırmadaki kararların enerji politikalarını olumlu ya da olumsuz etkileyen sonuçları da mutlaka olacaktır. Bu kapsamda Türkiye için enerji ve ulaştırma eş güdümlü bir yol haritasının gerekliliği gayet açıktır. Bu konuda literatüre yapılacak katkılar değerli ve gereklidir.

Nijerya gelişmekte olan bir ülke olarak sahip olduğu 200 milyonun üzerindeki nüfusu, geniş toprakları, zengin yer altı kaynakları ile ekonomik potansiyele sahip bir ülkedir. Afrika’nın kalbi konumundaki ülke önemli gelişme hamlelerinde bulunmaktadır. Tüketim kültürünün burada da yerleşmeye başladığı görülmektedir. Nijerya’da henüz üretim çeşitliliği ise sınırlıdır. Bu evsafa bir ülkenin petrol başta olmak üzere zengin sayılabilecek kaynaklarından ne ölçüde istifade ettiği ve bunu ekonomisine kazandırma hızı ve şekli önemlidir. Bu yönleri itibari ile Nijerya örneğinin kapsamlı değerlendirilmesi ulaştırma ve enerji ve bunların birbirleri ile ilişkisi bağlamında aydınlatıcı bir örneği teşkil etmektedir.

Ekonomik ilerleme ve refah seviyesi artışında şehirlerin çok ciddi bir etkisi söz konusu olmaktadır. Şehirlerin büyümesi ciddi anlamda kültürel, fiziki ve teşekkül düzeyleri ile ilintili olmaktadır. Bu anlamda da şehir içi taşımacılık büyük bir ehemmiyete haizdir. Bu çerçevede çeşitli çalışmalarda Hindistan başta olmak üzere gelişmekte olan muhtelif ülkelerin kentleri ile ulaştırma hususları ele alınmaktadır. Burada şehir ulaşımının bütün veçhelerinin değerlendirilmesinden daha da çok politik bir anlayıştan beslenmek sureti ile ilkesel anlamda önde olan konular irdelenmek durumundadır. Bu bağlamda da mesela Hindistan’ın şehirlerindeki araç sahipliğinin ilerleme trendleri ve ulaşım altyapısının yeterliliği değerlendirilmektedir. Akabinde ise şehir ulaşım sorunlarının trafik düzeyleri, çevre kirliliği, trafik güvenliği gibi başat unsurları çerçevesinde durumu ve boyutları analiz edilmektedir. Tüm bunlardan da sonra Hindistan’da şehir ulaşımının ilerletilmesi adına politika karar unsurları tavsiye niteliğinde ortaya konulmaktadır [3]. Doğalgaz ve petrol stokları en başta olacak şekilde Nijerya’nın ciddi değerlerde madeni kaynakları söz konusu olmaktadır. Nijerya Afrika kıtasının kayda geçirilmiş olan petrol rezervlerinin %28’inin sahibi iken bir diğer taraftan ise de kıtada Libya’dan sonra ikinci sıranın sahibi olup mücavir alanla çevrili coğrafi bölgenin en büyük ham petrol

üreten ülkesi durumundadır [3]. Ülkenin 2010 yılında günde 2,4 milyon varil ham petrol üretimi söz konusu olup bu da kıtadaki toplam petrolün yaklaşık olarak %24’ü anlamına gelmektedir. Ülkenin milli gereksinimlerini karşılamakta olup bunun da ötesinde ise 445.000 varil/gün petrol üretme kapasitesine haiz 4 adet rafinerisi bulunmaktadır [4]. Ekonomi ile ilgili ilginç bir nokta ise yakıt sübvansiyonlarının kaldırılması olup ülkede büyük bir tartışma konusu olmuştur. Nijeryalılar plana verdikleri onaya rağmen akabinde hayal kırıklığına uğramış iken hükümet ise bu noktadaki kararlı tutumunu sürdürmektedir. Yakıt sübvansiyonlarının kaldırılması konusu Nijerya’da on yıllar boyunca çok sayıda hükümetin gerçekleştirmek istediği bir reformdur, onayı durumunda oluşması muhtemel kamusal tepkilerden dolayı çok seferinde bu girişimler başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

Ekonomik bir mantıkla, sübvansiyonlar verili bir ürünün tüketicisinin hükümet tarafından söz konusu ürünün piyasa fiyatından düşük bir fiyatla ikame edilmesi yoluyla desteklenmesi durumunu ifade etmektedir. Yakıt sübvansiyonuna gelince; bu da tüketicinin benzinin litresine pompa fiyatının altında bir ödeme yapması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda yakıt sübvansiyonu; petrol ürünlerinin litre başına güncel piyasa fiyatı ile aynı ürünlere tüketicilerin ödediği son fiyat arasındaki fark olarak da tanımlanabilir. Gelişmekte olan ülkeler tüketiciler için fosil yakıt sübvansiyonlarını ilk olarak; ilgili çalışmalarda tanımlandığı üzere, net sosyal, ekonomik ve çevresel amaçların başarılması şeklinde kullanılmaktadır. Bu durum; enerji yoksunluğunun azaltılması, adaletin arttırılması, iç arzın arttırılması, ulusal kaynak varlığının yeniden dağılımı, dışsallıkların teyidi ve enflasyonun kontrolünü içermektedir.

2. Materyal ve Metot

Nijerya ticaretinin merkezinde yer alan ulaştırma sektörü yakıt sübvansiyonlarının kaldırılması reformundan daha da fazla etkilenmiştir. Sektöre bağlı modern işletmeler, endüstriler, ticari faaliyetler ve genel aktiviteler, bir yerden bir yere ürünlerin ve hizmetlerin taşınması yoluyla, küresel ve kentsel ekonomilerin devamlığında hayati olup ayrılmaz bir parçaları durumundadır. Farklı ulaştırma türlerindeki gelişimler, Nijerya’nın fiziksel ve ekonomik kalkınmasında gerekli hale gelmeye başlamıştır. Dahası bu tarz çalışmalar, Nijerya’da kent içi karayolu ulaştırmasında sübvansiyonların kaldırılmasının etkilerini sınımayı incelemektedir [4]. Ekonomide serbestleşme; belirli bir sektör ya da sanayide hükümet kontrolünün azaltılması ya da kaldırılması anlamına gelmekte olup böylelikle sanayide daha iyi ve daha çok rekabetin meydana getirilmesi hedeflenmektedir. Bir anlamda bir sistemin işletiminde hükümetin müdahalesinin devre dışı bırakılması demektir. Bu durum ilgili sektördeki güç odaklarının işletimsel yönetimde yerel ya da merkezi idareden daha fazla önde olması anlamına da gelebilmektedir. Serbestleşme; hizmet ve teşebbüslerde kısıtlamalara izin vermemektedir. Nijerya’daki bir diğer tartışmalı konu ise muhtemelen petrol endüstrisinde serbestleşme sorunu olup hem

muhallifleri ve hem de destekçileri için çeşitli soru işaretleri barındırmaktadır.

Destekçileri; petrol çıkarma sektörünün özelleştirilmesinin, nihai olarak topluma sürdürülebilir yakıt arzının temini ve sürekli bir yakıt yoksunluğunun sonlandırılması amacını hayata geçireceğini varsaymaktadırlar. Aynı zamanda, sektörün serbestleştirme ve özelleştirmesi yabancı yatırımcılara açılması anlamına gelmekte ve sektörde petrol ürünlerinin kaçakçılığı ve düşük verimliliği de büyük ölçüde azaltılmış olacaktır. Sektördeki serbestleşme ile hükümet, ekonominin diğer sektörlerini fonlama kanalı da açmış olacaktır. Muhallifler hangi sebeple olursa olsun yakıt sektörünün bütünüyle serbestleşmesi ya da özelleştirilmesine karşı çıkmakta olup bunun sadece, verimliliği arttırmak için kısmen olabileceğini savunmaktadırlar. Görüldüğü üzere ulusal düzeydeki bütün dikkat bu konuya toplanmış durumdadır. 1993'ten beri petrol desteklerinin değişiminde artma söz konusu olmakta olup bu da istifade edilebilecek bir tecrübe anlamına gelmekte ve hâlihazır politik kararlardaki arka planı da ifade etmektedir [5].

Kümelenmiş petrol yakıtı üretimlerinin tüketimindeki artış geneli itibari ile benzin ile ilintili olup terkibi petrol üretimindeki farklılaşmalara rağmen prensip olarak dikkate alınan bir petrol metasıdır. 1978'de benzinin muhtelif yakıt çeşitleri içerisindeki oranı %40 olup 2010'da ise %64'e yükselmiştir ve de ayrıca bu periyotta muhtelif ürünler içerisinde 1999-2003 döneminde ortalama senelik büyüme de %13,9'dan %20,4'e ilerlemiştir. Benzer olarak yine 1979-2020 aşamasında bu petrol ürünleri grubu içinde ortalama benzin tüketme artışı ise %3,4'ten %5,1'e ilerlemiştir [6]. Ülkede ulaştırma türleri karayolu, denizyolu, demiryolu, havayolu, iç su yolu ve boru hattı olup en büyük modal orana sahip olanlar ise sırası ile karayolu ve havayolu olmaktadır. 2009-2010 döneminde ise ulaşımda katma değerdeki yükselme %6,83'ten %6,72'ye inerek ivme kaybı ortaya çıkarır iken bu hâlihazır ise Nijerya'nın indirgenmiş emniyet seviyesine dayalı olarak demiryolları ve karayolları etkinliği ve yeterli olmayan şartlara dayalı ticari gerileme ile de bağlantılı olabilmektedir. Öte yandan boru hattı ve raylı sistemlerdeki ilerleme ise 2009-2010 döneminde %5,75 değerinden %5,81 değerine artış göstermiştir. Bu ilerleme ise muhtelif raylı sistem ray ve donatılarında sonuç veren iyileştirme işleri ve boru hatlarında terör saldırılarının bertaraf edilmesi marifeti ile yükseltilmiştir [6].

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Burada toplumsal ilerlemede sürdürülebilirliğin gelişmesindeki ana bir ihtiyaç ise petrol vb. hizmetlere ulaşma hususu ile ilintili görünmektedir. Yakıt sektörüne girişimlerin devreye sokulmasına ise de ekonomik kalkınmanın ciddi bir etkisi olmasına karşın öte taraftan ise münhasıran enerji sürdürülebilirliği hususuna yeterli erişim temin edilememektedir. Nijerya Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYİH) atış oranı değerleri ise 2004 ila 2007 seneleri arasında %6,01 değerinde bir büyümeyi ortaya koyar iken bir diğer taraftan ise de bu değer 2008 ila 2011 seneleri arasındaki dönem için ise %6,61'lik bir büyümeyi işaret etmektedir [7].

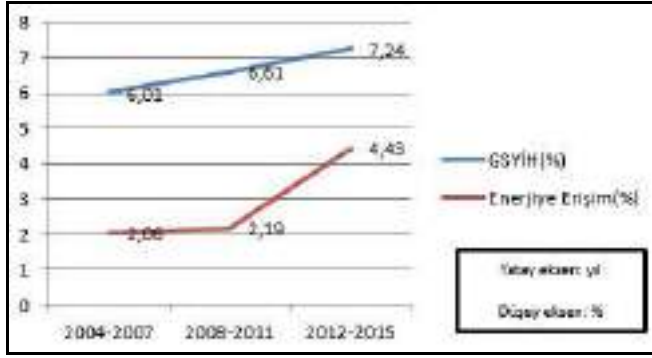
Yine bu dönem için ulaşım sistemi enerjiye ulaşımda, GSYİH ve tüm enerji ulaşımındaki büyümeye karşın öte taraftan Şekil 1'de ifade edildiği şekli ile henüz %50 değerinin altında seyretmektedir [8]. Nijerya ekonomisinde muhtelif veçhelerde petrol fiyatı tesiri hakkındaki alanlarda çalışmalar yapanlar çeşitli ampirik sonuçlar sunmaktadır.

Bu kapsamda ise isabetli yorumlamalar adına vektörel hata düzeltme (VEC) yaklaşımı ve vektör oto regresif (VAR) yöntemi icra edilmektedir [9]. Burada VAR yaklaşımı aynı şekilde terkip edilmiş olan ama denk entegreliği söz konusu olmayan muhtelif gruplar için ulusal yakıt fiyatlarından kısa erimli bağıntı oranlarına tek doğrultulu makullük var olduğunu ifade etmekte iken VEC yaklaşımı ise uzun erimli ulusal yakıt fiyat düzeylerinden enflasyon düzeyine makullüğün bulunması ile kısa erimlide de aynı direktif ile terkibi ve eş entegre unsurlar dizisinin makullüğünün bulunmasını ifade etmektedir [9]. Bu kapsamdaki çalışmalar eş entegre ve hata bertaraf (ECM) yöntemini kullanmakta olup böylelikle de desteklenmiş petrol fiyatları ve ulaşım sistemi arasındaki kısa erimli ve uzun erimli bağıntılar test edilmektedir. Burada eş entegre modeli unsurlar arası uzun erimli bağıntılarla ilgili bilgi temin eder iken bir diğer taraftan ise de ECM yöntemi ise unsurlar arası kısa erimli bağıntılar hakkında bilgi vermektedir [10].

Burada Tablo 3'te ilk ayı münhasır değerler bazındaki unsurların (TR, SPP, UPP) sabit katsayı şeklinde olduğu anlaşılmakta olup bu farklılaşmalar ise %1 mertebelerinde görülmektedir. Bunun ile de birlikte petrol satımları sabit bir şekilde olup bu da %1 düzeylerinde bir farklılaşma toleranslarına işaret etmektedir. Bu değişken parametreler ise mevzu bahis sonuç değerleri eşliğinde bilahare analizlerde hesap ve yorumlamada kullanılmaktadır. Hesaplanacak olan sonraki belirleme sınavı ise bu değişken unsurların eş entegre sınavı niteliğine haiz görünmektedir [11].

Desteklenmemiş yakıt fiyatları istatistiki anlamda ehemmiyetli görülmekte olup ve fakat ulaşım sistemindeki hacim artışı ile ise ters bir orantı göstermektedir. 2013'te yapılan araştırmalar dâhilinde ise Nijerya'da hâlihazırda deneyimlenmekte olan büyük ekonomik buhranların çözümlenebileceği bir anda desteklerin iptali ele alınmış olup bu noktada ortak görüşe de varılmış bir durumdadır. Bu halde ise ulaşım fiyat yükselmeleri, gıda ve hizmet bedelleri, lokal sanayilerin kapanması, iş zararları ve işsizliği, fakirlik mertebesi ile birçok Nijeryalının hayat düzeylerindeki yoksunluklarını arttırmakta ve tetiklemektedir.

Tablo 3. Birim Kök Testi Sonuç Özeti [17]



Şekil 1. Nijerya Enerji Erişimi ve GSYİH Trendi [10]

Görüldüğü üzere kentleşme, ulaştırma ve enerji arasında doğrudan bir bağlantı bulunmaktadır. Ancak bu birçok parametreye göre değişkenlik arzeden bir husustur. Nijerya örneğine bakılacak olursa nispeten petrol zengini bir ülke ele alınmakta olup eğer ki doğru kaynak yönetimi gerçekleştirilir ise Nijerya'da karayolu ve demiryolu dengesine dayalı olarak verimli bir ulaştırma sistemi kurulabilir görülmektedir. Küresel ölçekteki muhtelif örneklerde de enerji zenginliği ile ulaştırma sistemi arasında doğrudan bir bağlantı olduğu anlaşılmaktadır [12]. Eğer ki bu doğru orantı net bir şekilde okunamıyor ise o ülke, bölge ya da kentte doğru kaynak yönetimi ve entegre bir yaklaşım olmağı anlaşılacaktır. Türkiye için ise doğru kaynak yönetimi doğrultusunda mevcut karayolunun altyapısının tahkim edilmesi ve akıllı teknolojiler ile desteklenmesinin yanı sıra, demiryollarına yapılacak olan yatırım ön plana çıkmaktadır. Enerji yönünden çok zengin ülkeler dışında küresel ölçeğin geneli için yapılması gereken şey ise bu noktada, türler arası entegrasyon ve dengeli türel dağılıma sahip bir ulaştırma sisteminin kurulması olmaktadır [13].

Bu noktada ulaştırma ve kentleşme arasında birbirini doğrudan etkileyen, destekleyen ve doğuran bir bağıntı olduğu bilinmektedir. Buradan hareketle ise yapılması muhtemel istihdam girişimlerinin isabetliliğinin bir ölçütü ise ulaşım sektörü üzerinden elde edilebilir gibi görülmektedir [14]. Benzer bir şekilde yine ulaşım girişim ve yatırımları kentsel büyümeyi her yönü ile tesirine sokacaktır. Bu anlamda ise her zaman belirtildiği üzere planlama önemli bir hususiyet olarak kendini göstermektedir. Bu çerçevede ise Türkiye'de en genel anlamda planlamadaki noksanlıklar uzun erimli bir şekilde ciddi bir probleme işaret etmiş olup bir diğer taraftan ise de son zamanlarda bu noktanın iyileştirilmesi hususunda muhtelif çabaların gerçekleştirildiği de anlaşılmaktadır [15].

Kentte ulaştırma ile ilgili her planlama, operasyon, icra ve denetim sorumluluk ve yetkinlik tek mercide bir araya getirilmektedir. Bu hedef dâhilinde yönetsel ve kanuni revizelerin yapılması gerekmektedir. Ulaşım altyapısını teşkil eder iken ve operasyon esnasında kentsel mertebeye entegre bir düzey temin edilmeli, ulaşım modları birbiri arasında rekabet ettirilmemeli, tamamlayıcı ve ikame edilmelidir [16]. Muhtelif modların aynı ulaştırma güzergâhlarından istifade etmeleri mümkün mertebe bertaraf edilmeli, taşıt kapasitelerinin istifade payları yükseltilmelidir. İnsanları otomobillerinden koparmak zordur. Kentte yük ve yolcu ulaşımı hakkındaki tüm değerler bir ana noktada derlenmek sureti ile bir veri bankasının meydana getirilmesi, plan ve operasyonda ivedi ve mantıklı karar alma anlamında faydalı telakki edilmektedir [17].

Değişkenler ADF Test İstatistikleri İlk İşlem Farkları Entegrasyon Komutu

TR	-4,8637	-4,5326	I(1)
SPP	-5,0454	-4,5326	I(1)
UPP	-4,6334	-4,5326	I(1)
PQ	-5,0799	-4,4983	I(0)

Türkiye kentleşme ve kentlilik muhtevalarının içeriğini hem teorik olarak ve hem de uygulamada uzun süre tam anlamıyla dolduramamıştır, bunun sonucu olarak ise birçok disiplinde olduğu gibi plan yetersizlikleri ve alanlar arası iş birliği yetersizliği gibi nedenler ile bir araya gelerek kapsamlı sorunlar ile karşılaşmıştır. Burada toplumsal ve kültür mertebesinde çözüm ortaya konamaması bağlamında ekonomik sınırlılıklar da devreye girince göç fenomeni büyük bir hacim ile meydana gelmiş ve Cumhuriyet tarihinde 4 büyük göç itkisi meydana gelmiştir [18]. Söz konusu göç hareketlerinin zamanlamalı ve nitelikli nispi değişimleri olmasına rağmen öte yandan genel olarak ise ilk olarak kırdan kasaba, nahiye, ilçe merkezine, bilahare il ve ilçe merkezlerinden yöresel çekim alanlarına, oradan bölge odaklarına, son olarak da İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Tekirdağ, Adana, Aydın, Balıkesir, Muğla, Mersin, Kocaeli, Konya, Gaziantep, Antalya, Samsun, Hatay ve Manisa gibi büyük şehirlere bir göç doğrultusu meydana gelmiştir. Bu ise; kimi şehirlerde dengesiz nüfus dağılımı, kimi şehirlerde insansızlaşma gibi sonuçlar vermekte, çeşitli sebeplerle göçte tercih sebebi haline gelen şehir ise bütün bu dalgayı yönetememekte, plansızlık ve entegrasyon eksikliği gibi nedenlerle şehir taşıdığı insan yükü oranında sanayileşme, kültürlenme, şehirleşme ve şehirlilik gerçekleştirilememektedir [19].

Bir şehir ulaşım planı ayrıca yeşil taraftarı olan yaya, bisiklet, bisiklet ile triportör gibi ulaştırma türlerinin teşvikini de ihtiva etmelidir. Bundan da öte yaya ve bisikletlilerin emniyet kaygıları önemli ve yeterli bir biçimde karşılanmak durumundadır. Bu çerçevede ise yolun sağdaki şeridi yaya ve bisiklete özel şerit olmalıdır [20]. Bu ayrıca emniyetten de öte de bir şekilde trafik veriminin yükseltilmesi, ortalama hız ve akımın büyütülmesi ve indirgenmiş hız nedenli salımların azaltılma durumu gibi hususlarda da destekleyici olabilir. Ayrıca bisiklet ile ilgili teknik ve teknolojiler ise bisiklet dâhilindeki yolculuk uzunluklarının geliştirilmesi adına da ilerletilmek durumundadır. İlerletilmiş mesafeli yolculuklar için ise vitesli ve şambriyelsiz lastik dâhilinde ağırlığı azaltılmış bisikletler gerekli ve yeterli de olabilir. Burada idare ağırlığı indirgenmiş ve verimi artırılmış bisikletlerin teknik ilerlemesini tetikleyici politik karar alma mekanizmaları ve vechelerini gerçekleştirilebilir [21].

Uzunca bir müddet İstanbul'un Anadolu yakasının en merkezi konumundaki Kadıköy ilçesi ise günümüz itibarı ile eriştiği çekim alanında günlük yaklaşık 1 milyon nüfusun sirkülasyonuna ev sahipliğini mücavir alanı ile birlikte gerçekleştirilebilmekte olup öte yandan ise kendi içerisindeki bir restorasyon ve yeniden canlanma vechesini ise muhtelif ulaşım ve kentsel yatırımlar ve girişimler ile gerçeğe dökmektedir [22]. Bu bağlamda ise de mücavir alanında Çekmeköy ve Ataşehir, Acıbadem-Altunizade-Üsküdar-Çamlıca güzergâhı ilerleme vecheleri ile birlikte aynı zamanda da Pendik'teki etkili ve hızlı büyümede rol alan bir Kadıköy tablosundan söz etmek, düzenli bir planlama dâhilinde mümkün olabilir [23]. Bu da kamuoyuna Kadıköy özelinde ya da merkezli olarak değerlendirilen çokça proje dâhilinde gündem olan bir hususa da bilhassa işaret

etmektedir. Bu çerçevede ilk etapta hizmete açılan ve bugün itibarıyla sistemi oturmuş olan Kadıköy-Kartal metrosu kentleşme ve bağlantılar için önemli bir işlevi yerine getirmektedir. Ayrıca; daha da öncesinde BRT'nin (metrobüs) işleme alınması ile Kadıköy merkezdeki Söğütlüçeşme da ana istasyonlardan birisi haline gelmiştir. Bunun ile de birlikte bir sahil merkezi olarak Kadıköy; deniz ulaştırması operasyonunun da ortaya çıktığı bir yerleşimdir. Kadıköy kentinde geçtiğimiz seneler itibarı ile işleme alınan İstanbul Deniz Otobüsü hat seferleri ve limanının ilgili periyot dahilinde olumlu bir ilerleme ile en başta Kadıköy-Bakırköy hattı olmak üzere Kadıköy'ün merkezinde olduğu bir şekilde muhtelif hatların etkin ve verimli bir ulaşımı icra ettiğinden de söz edilebilir [24].

4. Sonuç

Enerji, özellikle de petrol günümüzde ulaştırma sistemindeki hayatîyetini ve vazgeçilmezliğini halen ciddi anlamda korumaktadır. Alternatif enerji konusu özellikle bu açıdan Türkiye ve benzeri gelişmekte olan ancak petrol zengini olmayan ülkeler ve coğrafyalar için çok önemlidir. Ancak bir diğer hususiyet ise sürdürülebilirlik bağlamında kendini göstermektedir. Zira sürdürülebilirlik bağlamında demiryolları özellikle de yüksek hızlı demiryolu bata olmak üzere çeşitli ulaştırma türlerinin ve bunlara yatırımın önemi ortaya çıkmaktadır [25]. Elektrik enerjisi ile çalışan demiryolları başta olmak üzere, otonom araçlar ve daha pek çok ulaştırma türü hem ulusal ve hem de küresel çapta gelecekte kritik öneme haiz olacaktır. Elektrik enerjisi ciddi bir avantajdır, dünyada hemen her ülkede üretilebilir. Türkiye için ise bu enerjinin temini için hem teknolojik ve kurulum altyapısı ve tecrübesi ve hem de doğal potansiyel fazlası ile bulunmaktadır. Elektrik enerjisi;

- Nükleer santrallerden
- Barajlardan
- Dalga enerjisinden
- Güneşten
- Rüzgârdan
- Hidrojenden
- Jeotermalden
- Termik kaynaklardan

Üretilir olmaktadır [26].

Bu yönü ile elektrik enerjisine ulaştırmada olan ihtiyaç, kentleşme ve teknolojik gelişim arttıkça, elektrik enerjisinin temin yolları ve temin verimi de buna paralel bir artış gösterebilir. Sonuç olarak bu konu da bir arz ve talep meselesidir. Ve talep her zaman için tarihi süreçten günümüze değin teknik gelişmenin itici güçlerinden birisini teşkil etmiştir. Taşıtların kullanımı ve ulaştırma trafik ekseninde petrole bağımlılığın kırılması ve de alternatif enerji türlerinin gerçek anlamda alternatif olma işlevini icra edici bir hüviyete bürünmesi ulaştırma sistemindeki devrim niteliğindeki dönüşümlerden birisini teşkil edecektir. Ülkemiz alternatif enerji hususunda zengin denebilecek imkân ve fırsatlara yer yer sahiptir. Elektrik enerjisinin hemen her türünden üretim tekniğinde kabiliyete sahip olmasının yanı sıra elektrik dışındaki muhtelif alternatif enerji türlerinde de adımlar atabilecek muhteviyat ve zenginliğe sahip görünmektedir. Türkiye'de ayrıca rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi konusunda yer yer zengin ve imkânlara haiz coğrafyalar bulunmasının yanı sıra bunların bir kısmında ayrıca hâlihazırda üretime de geçilmiş bir durum görünmektedir.

e-ISSN: 2148-2683

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) hem petrol zengini hem yerli otomobil sanayisi güçlü olan ve hem de otomobil sahipliği oranlarının çok yüksek olduğu bir ülkedir. Avrupa Birliği (AB) için de aynı şartlar geçerlidir, ancak tek istisnası petrol zengini olmamasıdır. Irak, Suudi Arabistan, İran, Kazakistan, Azerbaycan, Türkmenistan, Rusya, Kuveyt, Venezüella ve Nijerya gibi ülkeler petrol zengindir. Yine Kanada ve Çin de ilk 20 petrol zengini ülke arasındadır. Türkiye ise petrol zengini değildir, otomobil sanayi belli bir gelişmişlik seviyesinde, ilk yerli otomobil olarak ise geçtiğimiz yıl TOGG marka otomobil üretilmiş olup seri üretime geçilecektir. Türkiye'de karayollarının türel dağılımında büyük bir payı vardır ve otomobil sahiplik oranları yüksektir, günden güne daha da yükselecektir. Türkiye, petrol zengini coğrafya ile petrol gereksinimi çok yüksek olan Avrupa'ya birbirine bağlanmaktadır. Dolayısı ile ülkemiz bu süreçte; petrol kaynaklarına erişim ve edinimden petrolün taşınması, kullanımı ve satılmasına, karayolu ulaştırma türünden demiryolu ulaştırma türüne, otomobil bağımlı sistemden yeşil dostu sisteme ve de sürdürülebilirlik hususiyetlerine değin bir dizi konuyu çok iyi analiz etmek durumundadır. Bütün bu analizler bilimsel ve yeterli olarak gerçekleştirildiğinde, yeni politik atılımlar ve yerli üretim girişimleri dâhilinde, teknolojik yenilikçilik bağlamında Türkiye lehine kapsamlı adımların atılabilmesi muhtemel görünmektedir. Ancak esasen orta vadede ülkemizin ulaştırma ve ilgili konularda tüketim alışkanlıklarında müspet yönde gelişim ve değişimleri kaydetmesi gerekliliği ise açıktır. Bilinçli tüketici ve kullanıcı, doğru politik kararların daha ivedi ve organize ilerleyişini de destekleyici bir mahiyet ifade etmektedir.

Kaynakça

- [1] Kızıldaş M., Altan M. 2017. Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.
- [2] TÜİK Nüfus Verileri, 2016
- [3] Kızıldaş M., Tekin A. 2017. İstanbul'da Raylı Sistem Hatlarının Hat ve Sefer Entegrasyonlarının İncelenmesi, Transist 2017, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 2-4 Kasım
- [4] Altan M., Kızıldaş M. 2018. Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1):99-105.
- [5] Agarwal, O.P., 2001. "Towards a National Urban Transport Policy". Indian Journal of Transport Management, 25(6), 593-616. Sustainable Development, [http://www.uic.asso.fr/railisa\(12.08.2012\)](http://www.uic.asso.fr/railisa(12.08.2012))
- [6] Bussieck M.R., Kreuzer P., Zimmermann U.T., 1997. "Optimal Lines for Railway Systems". European Journal of Operational Research, 96(1), 54-63.
- [7] Camagni, R., 2009. Territorial Impact Assessment for European Regions: A Methodological Proposal and An Application to EU Transport Policy. Evaluation and Program Planning, 32(4), 342-350. doi:10.1016/j.evalprogplan.2009.06.014
- [8] Golobiç, M., Marot, N., 2011. Territorial Impact Assessment: Integrating Territorial Aspects in Sectoral Policies. Evaluation and Program Planning, 34(3), 163-173. doi:10.1016/j.evalprogplan.2011.02.009.
- [9] Wiewel, W., Persky, J.J., 2015. Suburban Sprawl: Private Decisions and Public Policy. Routledge.
- [10] Wong, W.G., Han, B.M., Ferreira, L., Zhu, X.N., Sun, Q.X., 2002. "Evaluation of Management Strategies for the

- Operation of High-speed Railways in China”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(3), 277-289.
- [11] Vasanen, A., 2012. Functiona lpolycentricity: Examining Metropolitan Spatial Structure Through the Connectivity of Urban Sub-centres. *Urban Studies*, 49(16), 3627–3644. doi:10.1177/ 0.042.098.012.447.000
- [12] 9. Kalkınma Planı Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu (ÖİK).“Karayolu Alt Komisyonu Raporu”.[http://ekutup.dpt.gov.tr/program/2006\(08.07.2012\)](http://ekutup.dpt.gov.tr/program/2006(08.07.2012)).
- [13] Veneri, P., Burgalassi, D., 2012. Questioning Polycentric Development and Its Effects. *Issues of Definition and Measurement for the Italian NUTS-2 Regions. European Planning Studies*, 20(6), 1017–1037. doi:10.1080/09654313.2012.673566
- [14] Istanbul Technical University (ITU), 2006. “Estimation of Freight and Passenger Transportation in Turkey”.Second Report.
- [15] Golson, J., Aug 2016. Tesla’s autopilot system is reportedly getting more sensors. URL. Google, 2017. Google self-driving car project. .
- [16] A. Vaibhav, D. Shukla, S. Das, S. Sahana, P. Johri, Security challenges, authentication, application and trust models for vehicular Ad Hoc network-a survey, *Int. J. Wirel. Microw. Technol.* 3 (2017) 36–48, doi:10.5815/ijwmt.2017.03.04.
- [17] Altan M., Kızıldaş M., Ayözen Y. 2020. High Speed Railways, Current Status and Development Trends at International Scale and Turkey, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi (yayın aşamasında)
- [18] Xia C., Xia H., Roeck G. 2014. “Dynamic response of a train-bridge system under collision loads and running safety evaluation of high-speedtrains, *Computers and Structures*, vol. 140, pp.23–38.
- [19] Zhou H., Ni Y., Ko J. 2010. “Constructing input to neural Networks for modeling temperature-caused modal variability: mean temperatures, effective temperatures, and principal components of temperatures,” *Engineering Structures*, vol. 32, no.6, pp.1747–1759.
- [20] Levin, M.W., Boyles, S.D., 2016 A multiclass cell transmission model for shared human and autonomous vehicle roads. *Transp. Res. Part C: Emerging Technol.* 62, 103–116.
- [21] Altan M., Kızıldaş M., Ayözen Y. 2020. Comparative Evaluation of the Development, Current Situation and Investment Plans of High Speed Railways on National, Regional and International Basis, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi (yayın aşamasında)
- [22] M. Zhu, H. Chen, A model predictive speed tracking control approach for autonomous ground vehicles, *MSSP 87, Part B* (2017) 138–152.
- [23] Amendo C., Hamm P., Kelly J., Maerz L., Brunette K., Scudato M., Finley G., Greene L. 2016. Autonomous Vehicles-Considerations for Personal and Commercial Lines Insurers. Munich Re.
- [24] Kızıldaş M. 2015. Traffic Safety and Railway Applications, *Transportation World Newspaper*.
- [25] Nijkamp P. 2009. Regional development as self-organized converging growth, In: Kochendörfer-Lucius, G., Pleskovic, B. (Eds.), *Spatial Disparities and Development*. The World Bank, Washington DC, pp. 265–281.
- [26] Geurs K., vanWee B. 2004. Accessibility evaluation of land-useand transport strategies review and research directions, *Journal of Transport Geography* 12, 127– 140.



Algılayıcı Türlerinin Güneş Takip Sisteminde Etkinliğinin Araştırılması

Tuğba Gürsoy^{1*}, Ahmet Yönetken²

^{1*} Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3401-2187), yonetken@aku.edu.tr

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1844-7233), tubagursoy_035@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 19Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 2 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.843262)

ATIF/REFERENCE: Gürsoy, T. & Yönetken, A. (2021). Algılayıcı Türlerinin Güneş Takip Sisteminde Etkinliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 112-119.

Öz

Teknolojinin gelişmesi, enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması alternatif enerji kaynakları aramaya teşvik etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı artan enerji talebini karşılamada önemli bir yere sahiptir. Güneş enerji teknolojileri günümüzde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Güneş enerjisinden yüksek verimlilikle güç elde etmede güneş takip sistemleri gündeme gelmektedir. Bu çalışmada Güneş takip sistemleri çift eksenli olarak tasarlanmıştır. Güneş panelleri aynı teknik özelliklere sahiptir. Güneş panellerine üzerine üç farklı tip algılayıcı yerleştirilmiştir. Algılayıcı türlerinin aynı tip enerji üretimine olan performansları karşılaştırılmıştır. Sistemin sabit ve hareketli konumda belirli aralıklarla gerilim ve akım değerleri ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre güneş panellerinin sabit ve hareketli konumda toplam üretimleri karşılaştırıldığında hareketli konumda sabit konuma göre; LilyPad Işık Sensörlü sistemde %36,68 oranında, SMD Sensörlü sistemde %38,42 ve LDR'li sistemde %43,58 oranında artış görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Güneş takip sistemleri, Algılayıcılar.

Investigation Of The Activities Of Sensor Types In Solar Tracking System

Abstract

The development of technology and the demand for energy are increasing day by day. The limited fossil fuels encourage the search for alternative energy sources. The use of renewable energy sources has an important place in meeting the increasing energy demand. Solar energy technologies are being used frequently today. Solar tracking systems are on the agenda in obtaining power from solar energy with high efficiency. In this study, solar tracking systems are designed as biaxial. Solar panels have the same technical features. Three different types of sensors are placed on the solar panels. The performances of the sensor types against the same type of energy production have been compared. The voltage and current values of the system were measured in fixed and mobile positions at regular intervals. According to the data obtained, when the total productions of solar panels in fixed and mobile position are compared; There was an increase of %36.68 in the LilyPad Light Sensor system, %38.42 in the SMD Sensor system and %43.58 in the system with LDR.

Keywords: Renewable energy, Solar tracking systems, Sensors.

* Sorumlu Yazar: yonetken@aku.edu.tr

1. Giriş

Güneş enerjisi temiz ve sonsuz bir kaynaktır. Artan enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir yere sahiptir. Güneş enerjisinin ışınım şiddetinin sürekli ve aynı değerde olmaması bu sistemlerden maksimum verimle enerji üretimini mümkün kılmamaktadır. Enerjinin belli aralıklarda farklı değerlere sahip olması sistemden anlık olarak yüksek verimlilikle enerji üretimi sağlamayı gerektirir. Güneş ışınlarının geliş açısı her saat aralığında değişkenlik göstermektedir. Güneş ışını panel yüzeyine dik açıda geldiği konumda sistem en yüksek verimlilikle çalışmaktadır. Güneş ışınlarını her konumda dik açıda alabilmek için güneş takip sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler sabit sistemlerden farklı olarak hareketli bir yapıya sahiptir. Bu sayede güneş ışınlarının geliş açısına doğru yönelerek sistemin maksimum verimlilikle üretim yapmasına olanak sağlamaktadır. Sistemin yüksek verimlilik sağlamasına karşın hareket mekanizması ve güneş ışığı algılama donanımları ekstra bir maliyet ortaya çıkarmaktadır. Güneş takip sistemlerinin konumlandırılması detaylı bir fizibilite çalışması gerektirmektedir. Güneş takip sistemlerinin konumlandırılmasının iyi yapılamaması bu sistemlerden alınan verimin düşmesine sebebiyet verebilmektedir. Güneş takip sistemlerinden yüksek verimlilikle enerji üretimi için pek çok çalışma yapılmaktadır. Aşağıda bu tür çalışmalara örnek verilebilir:

Alif Ismail ve arkadaşları, ayna yansımali bir çift eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistemde 10 W güneş paneli, servo motor, LDR (Işığa Bağımlı Direnç) ve arduino uno kullanılmıştır. Deneyin sonuçlarına göre tasarlanan sistemin sabit sisteme göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır (Alif Ismail et al, 2020). Allamehzadeh çalışmasında güneş enerjisi ve güneş takip sistemleri teknolojileri hakkında inceleme yapmıştır. Araştırma sonucunda güneş takip sistemlerinin sabit sistemlere göre verimlilik açısından daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır (Allamehzadeh, 2019). Al-Rousan ve arkadaşları, ANFIS (Uyarlamalı Ağ Bulanık Çıkarım Sistemi) prensibini kullanarak iki adet akıllı güneş takip kontrol sistemi önermişlerdir. Önerilen modellerde güneş ışınımı maksimum seviyede alarak güneş takip sisteminin performansını arttırmak amaçlanmıştır. Deney sonuçları doğrultusunda önerilen sistemlerin güneş takibi kontrolü için optimum seviyede olduğu gözlemlenmiştir (Al-Rousan et al, 2020). Altayeb ve arkadaşları, iki eksenli bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistem mikrodnetleyici ile kontrol edilmiştir. Güneş takibini yapabilmek için üç tip güneş izlemi yöntemi kullanılmıştır. Veri toplama aşamasında özel bir yazılım kullanarak sistemin bütün çıktıları analiz edilmiştir (Altayeb et al, 2018).

Amelia ve arkadaşları, panellerin optimum seviyede güneş ışını alması için mevcut güneş takip sistemlerini incelemişlerdir. Mevcut sistemlerin performans analizini yapılmış, avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Araştırma sonucunda en verimli sistemin çift eksenli rotasyon ile aktif güneş takip sistemleri olarak belirlenmiştir (Amelia et al, 2020). Ammach ve Attia, iki eksenli güneş takip sistemi önermişlerdir. Tasarımda iki adet DC (Doğru Akım) motor ile gün içinde otomatik olarak panel konumlandırılmıştır. Güneş panelini güneşin koordinatlarına yönlendirmek için mikrodnetleyici algoritması kullanılmıştır. Mekanizma kullanılmadığı zamanlarda uyku moduna geçmektedir. Bu sayede düşük güç tüketimi sağlanmıştır. Önerilen güneş takip sistemi Cidde, Suudi Arabistan bölgesi için uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Ammach & e-ISSN: 2148-2683

Attia, 2019). Awad ve arkadaşları, arduino kullanarak ekonomik bir güneş takip sistemi geliştirmiştir. Sistemde mekanizma hareketi için servo motor, LDR (Işığa Bağımlı Direnç) ve ışığa bağlı olarak sistemi konumlandırmak için mikrodnetleyici kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen sistemin aynı şartlarda sabit bir güneş panelinden %25 daha verimli olduğunu göstermiştir (Awad et al, 2020). Awasthi ve arkadaşları, mevcut güneş paneli sistemlerini ve güneş takip sistemlerini incelemişlerdir. Çift eksenli güneş takip sistemleri üzerinde durmuşlardır. Genel olarak bu sistemlerin tek eksenli ve sabit sistemlere göre daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır (Awasthi et al, 2020). Away and Ikhsan, çift eksenli güneş takip sistemleri için yeni bir güneş ışığı algılama sensörü önermiştir. Sensörde dört yüzlü şekil üstüne üç adet LDR (Işığa Bağımlı Direnç) yerleştirilmiştir. Sistemde maksimum görüş alanı sağlanarak hataları en aza indirmek amaçlanmıştır. Geliştirilen sensör başarılı sonuçlar vermiştir (Away & Ikhsan, 2017). Benaboud, MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleyici) teknikleri ile kontrol edilebilen birçift eksenli güneş takip sistem önermiştir. Önerilen prototipte MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleyici) tekniklerinin kullanılması panelin güneş ışınımı maksimum seviyede almasını sağlamıştır (Benaboud, 2020). Farhan, düşük maliyetli çift eksenli bir güneş takip sistemi tasarlamıştır. Sistemde mekanizmayı konumlandırmak için DC (Doğru Akım) motor ve ışığı algılama için LDR (Işığa Bağımlı Direnç) kullanmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre çift eksenli güneş takip sisteminin diğer sistemlerden daha verimli olduğunu belirlemiştir (Farhan, 2020). Jamroen ve arkadaşları, düşük maliyetli bir güneş takip sistemi önermişlerdir. Takip sistemi çift eksenli olup kapalı döngü kontrol etmişlerdir. Sisteme girdi olarak LDR (Işığa Bağımlı Direnç) sensörlerden alınan bilgiler kullanılmıştır. Önerilen takip sistemi sabit PV sistemi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen sistemin verimliliği ortalama %44,89 arttırdığı görülmüştür. Tasarlanan sistemin maliyet analizi yapılmıştır (Jamroen et al, 2020). Makhija ve arkadaşları, çalışmalarında otomatik bir çift eksenli güneş takip cihazı tasarımı yapmışlardır. Güneş takip devresinde arduino, dört adet LDR (Işığa Bağımlı Direnç) ve iki adet servo motor kullanılmıştır. Sistem çıktısının verimliliği, 20 derecelik bir açıyla eğimli sabit bir güneş paneli ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar çift eksenli güneş takip sisteminin %37 daha yüksek voltaja ulaştığını göstermiştir (Makhija et al, 2017). Mane ve arkadaşları, bu çalışmada çift eksenli güneş takip sisteminin simülasyon modelini sunmuşlardır. Çift eksenli güneş takip sisteminin ürettiği güç, deney süresi boyunca sabit güneş panelinden %26,72 daha fazla olmuştur (Mane et al, 2018).

Mohaimin ve arkadaşları, çalışmalarında güneş takip sistemlerinin uygulanabilirliği konusunda farklı bir yöntem önermektedir. Tek eksenli takip için iki adet LDR (Işığa Bağımlı Direnç) ve motor, çift eksenli takip içinse dört adet LDR (Işığa Bağımlı Direnç) ve iki motor kullanılmaktadır. Her iki sistem için mikrodnetleyici ile akım, gerilim ve güç değerleri okunur. Okunan değerler Proteus simülasyon programı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ölçülen değerler %1.4'lük bir hata payına sahiptir (Mohaimin et al, 2018). Mohaimin ve arkadaşları, mikrodnetleyici kullanarak iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistemden her 10 saniyede bir veri alınmış ve veriler hafıza kartına kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çift eksenli güneş takip sistemi, tek eksenli güneş takip sisteminden %8 ila %12 daha fazla güç üretmiştir (Mohaimin et al, 2018). Mohd Said ve arkadaşları, arduino kullanarak IOT (Nesnelerin İnterneti) izleme sistemi ile çift eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistemde mekanizmayı döndürmek için

iki adet servo motor ve güneş ışığı algılama için 4 adet LDR (Işığa Bağımlı Direnç) kullanılmıştır. Wi-fi ESP8266 cihazı kullanılarak cihaz ile izleme sistemi arasında haberleşme sağlanmıştır. Sistem sonuçları elde edilmiş ve tek eksenli güneş takip sistemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar çift eksenli güneş takip sisteminin güç çıktısının daha fazla olduğunu göstermiştir (Mohd Said et al, 2020). Mustafa ve arkadaşları, hassasiyeti yüksek bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Bu çalışmada güneş pozisyonunu algılamak için iki aşama kullanılmıştır. Deneysel sonuçları güneş takip sisteminin verimliliği arttığını göstermiştir (Mustafa et al, 2017). Mustafa ve arkadaşları, dişli sistemine sahip bir mekanik sistem üzerinde LDR (Işığa Bağımlı Direnç) ve DC (Doğru Akım) motor kullanarak çift eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Deneysel sonuçları güneş takip sisteminin verimliliği arttırdığını göstermiştir (Mustafa et al, 2018). Natarajan ve arkadaşları, çalışmalarında su kütlelerine kurulabilen çift eksenli bir güneş takip sistemi tasarımı yapmışlardır. Mekanizmada step motor ve aktüatör kullanılmıştır. Tasarımda platform için farklı malzemelerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Prototip ahşap malzemeden yapılmış ve tasarımı geliştirilmiştir (Natarajan et al, 2019). Pattanaik, güneş paneline gelen maksimum güneş ışığını saptamak için bir otomatik kontrol sistemi tasarlamıştır. Güneş takip sisteminde iki adet DC (Doğru Akım) servo motor ve dört adet LDR (Işığa Bağımlı Direnç) kullanmıştır. Akım ve gerilim değerleri arduino mikro denetleyicisi tarafından okunmuştur (Pattanaik, 2019). Salih ve arkadaşları çalışmalarında MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleyici) algoritması kullanarak güneş takip sisteminin üretimini gözlemlemişlerdir (Salih et al, 2019). MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleyici) ile takip sisteminin geleneksel sistemlere göre daha yüksek verimlilikle enerji üretimi yaptığı saptanmıştır (Jin et al, 2019). Smirnov ve arkadaşları, Chelyabinsk'te bulunan bir panel için tek eksenli güneş takip sisteminin etkinliğini araştırmışlardır. Mayıs-Eylül 2016 döneminde dört adet deney setinden veri almışlardır. Elde edilen veriler sabit panele göre verimliliğin %33 arttırılabildiğini göstermiştir (Smirnov et al, 2020). Tiwari ve arkadaşları, Matlab ortamında iki eksenli bir güneş takip sistemi simülasyonu yapmışlardır. PV (Fotovoltaik) sistemi, kontrol devresi, LDR (Işığa Bağımlı Direnç) sensörü gibi tüm donanımlar simülasyon ortamında geliştirilmiştir. Sistemden farklı günlerde veriler alınmıştır. Modelden alınan verilerle sabit sistemin verileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar güneş takip sisteminin verimliliği arttığını göstermiştir (Tiwari et al, 2020). Zhu ve arkadaşları, bu çalışmada yeni bir izleme sistemine dayanan tek eksenli bir güneş takip sisteminin tasarımını ve performans analizini sunmuşlardır. Güneşin koordinatları ve güneş radyasyonu tahmin metoduna dayalı bir model önermişlerdir. Modelin benzetim sonuçları önerilen sistemin mevcut sistemlere göre avantajlı olduğunu göstermektedir (Zhu et al, 2020).

Güneş takip sistemleri konusunda alakalı literatürde pek çok çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalar güneş takip sistemlerinin, sabit sistemlere göre yüksek verimlilikle çalıştığını gösterir niteliktedir. Güneş takip sistemlerini geliştirmek için farklı metodolojiler önerilmektedir. Güneş ışığını maksimum seviyede alabilmek için farklı algoritmalar geliştirilmektedir. Sistemlerde genellikle güneş ışığını algılamak için LDR (Işığa Bağımlı Direnç) kullanılmıştır. Bu çalışmada çift eksenli güneş takip sisteminde algılayıcıların verimliliği karşılaştırılmıştır. Deneysel için üç adet çift eksenli güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan her sisteme aynı özellikte 100 W gücünde güneş panelleri monte edilmiştir. Sistemin sabit konumda 12 Ağustos 2019 – 01 Eylül 2019 tarihleri arasında belirli aralıklarla akım ve

gerilim değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra üç farklı değere sahip algılayıcılar monte edilmiştir. Üç ayrı sistem aynı koşullarda çalıştırılmış ve hareketli sistemin 02 Eylül - 22 Eylül 2019 Tarihleri arasındaki akım ve gerilim değerleri kaydedilmiştir. Sabit ve hareketli konumdaki değerler yapay sinir ağları ile bir tahmin yapılmıştır. Elde edilen verilere göre algılayıcıların verimlilikleri kıyaslanmıştır. Çalışmada güneş panellerinin sabit ve hareketli konumda toplam üretimleri karşılaştırıldığında hareketli konumda sabit konuma göre; LilyPad Işık Sensörlü sistemde %36,68 oranında, SMD Sensörlü sistemde %38,42 ve LDR'li sistemde %43,58 oranında artış görülmüştür. Bu makalenin organizasyonu aşağıdaki şekilde tasarlanmıştır. 2.Bölümde çalışmada kullanılan güneş paneli, güneş panelini taşıyan platform, algılayıcılar, ölçme donanımları, enerji üretim tahmini hakkında bilgi verilmiştir. Güneş panelinin teknik özellikleri belirtilmiştir. Güneş panelini taşıyan platformun özellikleri açıklanmıştır. Sistemde kullanılan algılayıcıların teknik özellikleri sunulmuştur. Ölçme donanımlarının blok diyagramı verilmiştir. Enerji üretim tahmini kısmında kullanılan yöntem hakkında açıklama yapılmıştır. 3.Bölümde çalışmadan elde edilen bulgular tablo ve grafiklerle sunulmuş ve son olarak 4.Bölümde literatürde yapılmış çalışmalarla elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Sistemle ilgili tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Güneş Paneli

Güneş panelleri, güneş enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan bir malzemedir. Özelliklerine göre birçok çeşidi mevcuttur. Güneş enerji paneli çeşitleri arasında Monokristal en verimli olanıdır. Fakat maliyeti açısından diğer panellere göre daha pahalıdır. Bu güneş paneli türü küçük alanda yüksek enerji üretir. Güneş enerji potansiyeli düşük bölgelerde enerji üretimi için alternatif olabilmektedir. Bu panellerin kullanım ömrü uzundur. Ancak gölgelenme faktörü panelin verimli çalışmasını olumsuz etkilemektedir. Kısa sürede az yüzey alanıyla yüksek güç çıktılarını elde etmek için çalışmada monokristal panel tercih edilmiştir. Her biri 100 W gücünde üç adet güneş paneli kullanılmıştır. Panellerin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

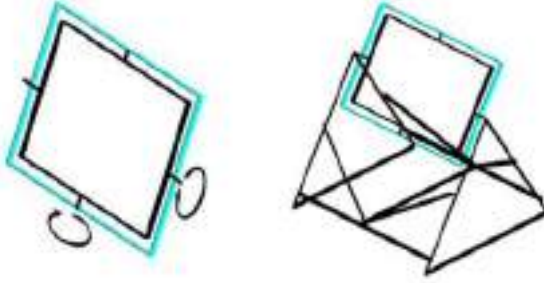
Tablo 1. Güneş panelinin teknik özellikleri

PV Model	SRM-100D
Standart güç	100 W
Kısa devre akımı (Isc)	5.51 A
Açık devre voltajı (Voc)	24.35 V
Maksimum güç noktası akımı (Imp)	5.06 A
Maksimum güç noktası voltajı (Vmp)	19.8 V
Maksimum sistem voltajı	DC 1000 V
Modül boyutu	1325X535X35 mm

2.2. Güneş Panelini Taşıyan Platform

Güneş enerji sistemlerinde verimliliği arttırmaya yönelik uygulamalarda güneş takip sistemleri gündeme gelmektedir.

Güneş takip sistemleri gün boyu güneşten yararlanma sağladığı için verimliliği arttırmaktadır. Ancak bu sistemlerin gün boyu güneş ışığını takip etmesi için mekanizma maliyeti yüksektir. Güneş takip sistemleri takip eksenli ve kontrol yöntemine göre farklılık göstermektedir. Çalışmada çift eksenli bir güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan deney düzeneği Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan deney düzeneği

Güneş takip sistemlerinin mekanik aksamında güneş takip sisteminin hareketini sağlamak için yüksek torklu MG995 servo motor seçilmiştir. Tasarım panelin boyutlarına göre dizayn edilmiştir. Dizayn edilen sistem deneyi yapmaya uygun olmakla beraber düşük maliyetli bir sistemdir. Sistem yere sabitlenmesini sağlayan ayaklar ve panellerin monte edildiği çerçeve olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Yere sabitlenmesini sağlayan kısım panelin boyutlarına göre dengede durabilecek ve motora ekstra bir yük bindirmeyecek şekilde hesapları yapılmıştır. Panel boyutunun uzun olması nedeniyle sistemde hareket mekanizmasında yüksek güçlü motor kullanmamak için sistem yatay eksenle tasarlanmıştır. Sistemde iki adet çerçeve bulunmaktadır. Dış çerçeve doğu-batı yönünde hareketi sağlarken, panellerin monte edildiği iç çerçeve kuzey-güney yönündeki dönüşü sağlamaktadır. Çerçevelerin bir tarafında motor bağlantısı bulunurken karşı tarafında ise rulmanlar bulunmaktadır. Bu sayede motor hareketiyle çerçeveler ışık sensörlerinden aldığı bilgiye göre sistemin istenilen yöne çevrilmesini sağlamaktadır.

Panellerin ürettiği enerji çıktıları sabit ve hareketli olmak üzere her iki durumda da aynı platform üzerinden alınmıştır. İlk önce platformun hareket etmesini sağlayan kontrol sistemi devre dışı bırakılarak sabit konumda veri alınmıştır. Daha sonra platformun kontrol sistemi devreye alınarak hareketli konum verileri kaydedilmiştir.

2.3. Algılayıcılar

Algılayıcılar fiziksel bir giriş bilgisini çıkış sinyaline dönüştüren cihazlardır. Kullanım amacına göre çeşitli sensörler mevcuttur. Güneş takip sistemlerinde de ışık sensörleri kullanılabilir. Çalışmada güneş ışığına göre güneş takip sistemini yönlendirmek için LDR (Işığa Bağımlı Direnç), ALS-PT19-315C SMD (Yüzeye Monte Edilebilen Eleman) Işık sensörü ve LilyPad Işık Sensörü olmak üzere üç farklı algılayıcı kullanılmıştır. Her sistemde ayrı bir algılayıcı kullanılmıştır.

LDR (Işığa Bağımlı Direnç) bir foto dirençtir. Foto dirençler ışık şiddetine bağlı olarak direnci değişen pasif bir sensördür. Bulunduğu devrede değişkenlik gösteren direnç değerleri ile bir çıkış sağlar. LDR’ler sistemde dış ortamdan aldıkları fiziksel bir değişim ile sensör olarak görev yapar. LDR’lerin elektriksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. LDR’nin elektriksel özellikleri

Parametre	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell Resistance	1000 lux 10 lux	- -	400 9	- -	Ω k Ω
Dark Resistance	-	1	-	-	M Ω
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise Time 1	1000 lux 10 lux	- -	2.8 18	- -	ms ms
Fall Time 2	1000 lux 10 lux	- -	48 120	- -	ms ms

ALS-PT19-315C SMD fototransistör çıkışlı optik sensördür. LDR (Işığa Bağımlı Direnç) ile aynı mantıkta çalışmaktadır. Bu analog ışık sensörü genellikle küçük boyutta projelerde kullanılmaktadır. SMD’nin teknik özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. SMD’lerin teknik özellikleri

Parametre	Sym.	Min.	Typ.	Max	Unit	Test Condition
Dark Current	I_{CEO}	-	-	0.1	μA	$V_{CE}=10V$ $E_V=0Lux$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	-	-	0.4	V	$I_C=2mA$ $E_V=1000Lux$
Light Current	I_{PH1}	5	15	-	μA	$V_{CE}=5V$ $E_V=100Lx$
	I_{PH2}	50	150	-	μA	$V_{CE}=5V$ $E_V=1000Lx$
	I_{PH3}	140	520	-	μA	$V_{CE}=5V$ $E_V=1000Lx$
Photocurrent Ratio	I_{PH3}/I_{PH2}	-	3.5	-	-	$V_{CE}=5V$ $E_V=1000Lx$
Saturation Output Voltage	V_0	4.5	4.6	-	V	$V_{CC}=5V$ $E_V=1000Lx$ $R_L=75K$

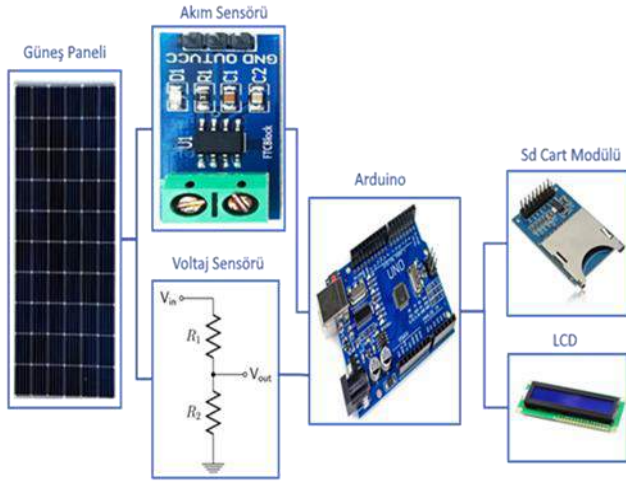
LilyPad Işık Sensörü, yerleşik ve hemen kullanıma hazır bir ALS-PT19 ışık sensörüne sahip, bir sensör kartıdır. Sensör, üzerinde parlayan ortam ışığının seviyesine bağlı olarak 0V ile 5V arasında voltaj üretir. Işık yoğunluğuna göre mikrodenetleyicinin çektiği akım artar. 360 ile 970 spektral algılama aralığına sahiptir. LilyPad Işık Sensörü’nün teknik özellikleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. LilyPad Işık Sensörü’nün teknik özellikleri

Parametre	Test Condition	Symbol	Value	Unit
Collector Emitter Voltage		V_{CEO}	6	V
Emitter Collector Voltage		V_{ECO}	1.5	V
Collector Current		I_C	20	mA
Total Power Dissipation	$T_{amb} \leq 55^\circ C$	P_{tot}	100	mW

2.4. Ölçme Donanımları

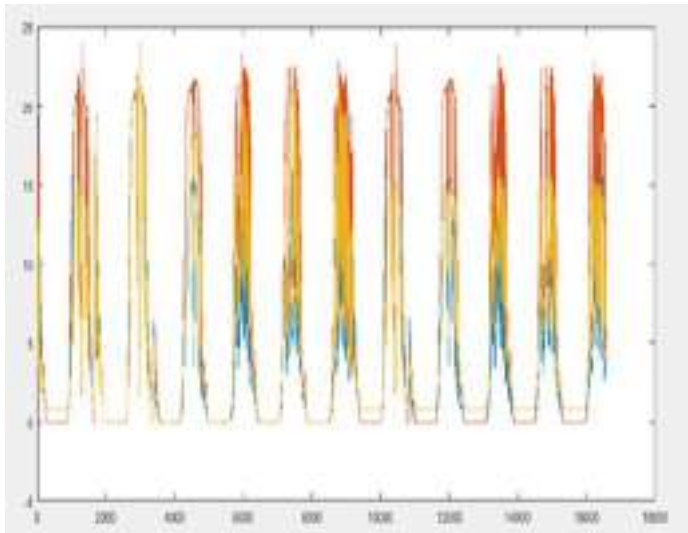
Güneş takip sisteminin enerji çıktılarını saptamak için ölçme donanımı kullanılmaktadır. Sistemde akım ve gerilim ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sistemi Arduino mikrodenetleyicisi ile programlanmıştır. Sistemde akım sensörü, gerilim bölücü dirençler, LCD ekran ve Sd kart modülü bulunmaktadır. Sistemin akım değerleri doğrudan ölçülebilirken gerilim değerleri dirençler üzerinden geçirilerek ölçülür. Elde edilen veriler ekran üzerinden izlenebilirken aynı zamanda bir dakikalık aralıklarla Sd kart içine kaydedilmiştir. Veri alma sisteminin blok diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Veri alma sistemin blok diyagramı

2.5. Enerji Üretim Tahmini

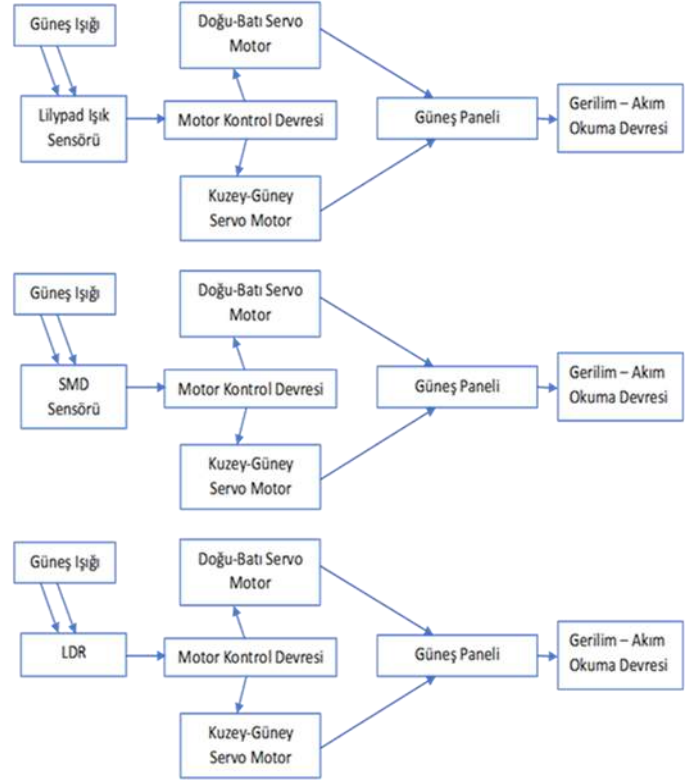
Güneş enerjisinin ışınım değerleri gün içinde belirli zaman aralıklarında değişiklik göstermektedir. Gün boyu güneş enerji sistemlerinden sabit enerji üretimi yapılamamaktadır. Sistemin enerji çıktılarında yola çıkarak kısa ve uzun vadede üretim yapabilmek için birçok metodoloji mevcuttur. Yapay sinir ağları enerji üretim tahmininde yaygın olarak kullanılan bir tahmin yöntemidir. Yapay sinir ağlarında çok çeşitli ağ yapıları ve modelleri bulunmaktadır. Çalışmada girdi olarak sistemden alınan akım, gerilim değerleri ve ışınım değerleri kullanılarak kısa dönem tahmin yapılmıştır. Üretim değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Üretim değerlerinin karşılaştırılması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş ve Rüzgar Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi’nin araştırma sahasında yapılmıştır. Kurulan sistemlerden 12 Ağustos 2019 -22 Eylül 2019 tarihleri arasında kayıt edilen veriler ve sonuçları aşağıda detaylı bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 4. Güneş takip sistemin blok diyagramı

Güneş takip sisteminin blok diyagramı Şekil 4’te verilmiştir. Sistemin ilk önce motor kontrol devresi çalıştırılmadan sabit konumda gerilim- akım değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra güneş takip sistemine algılayıcılar ilave edilip motor kontrolü sağlanmıştır. Sistemden hareketli konumda gerilim -akım değerleri alınmıştır. Her iki düzenden veriler kaydedilip elde edilen sonuçlar ışığında tahmin yapılmıştır.

Güneş takip sisteminden hareketli konumda akım ve gerilim değerleri kaydedilmiştir. Kaydedilen veri seti bir dakikalık aralıklarla üç haftalık veriyi içermektedir. Verilerden elde edilen bulguların saatlik ortalamaları dikkate alınmıştır. Sistemin 24.09.2019 tarihli saatlik enerji üretimi Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. 24.09.2019 tarihli saatlik enerji üretimi

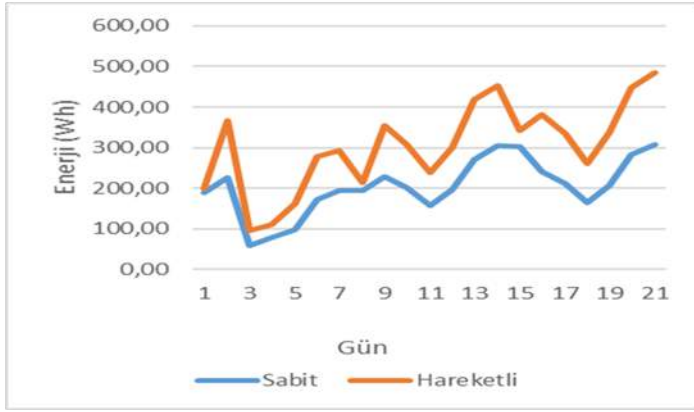
Saat	1-6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18-24
LilyPad	0	2	11	23	27	27	27	26	24	8	2	1	0
SMD	0	2	18	36	39	40	40	39	37	29	7	2	0
LDR	0	2	19	37	41	42	42	41	39	30	7	2	0

Tablo 5’te belirli saat aralıklarında farklı üretim değerleri gözlenmiştir. Güneş ışınımının en yüksek olduğu zamanlar maksimum değerlere ulaşılmıştır. Aynı zamanda ışınım olmadığı durumda da üretim olmamıştır. Sistemin güneş ışığına maruz kalma oranına göre enerji üretimi değişiklik göstermiştir.



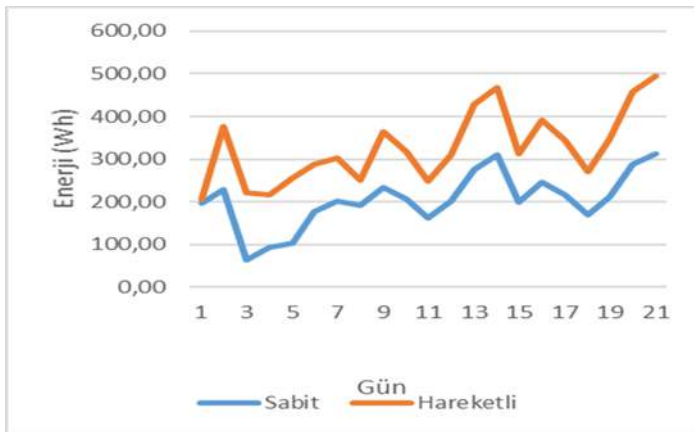
Şekil 5. LilyPad Işık Sensörlü sistemin hareketli ve sabit konumdaki enerji üretimi

Şekil 5'te LilyPad Işık Sensörlü sistemin hareketli ve sabit konumdaki toplam enerji üretim değerleri görülmektedir. Değerler gün içinde güneş ışınımı şiddetinin farklılığına ve olası dış etkenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir.



Şekil 6. SMD Sensörlü sistemin hareketli ve sabit konumdaki enerji üretimi

Şekil 6'da SMD Sensörlü sistemin hareketli ve sabit konumdaki toplam enerji üretim değerleri görülmektedir. Elde edilen değerlere göre hareketli sistemde enerji üretimi artış göstermektedir. Güneş açısını yakalamaya yönelik hareketli sistemin konumlandırılması sabit konuma nazaran daha fazla enerji üretimi sağlamıştır.



Şekil 7. LDR'li sistemin hareketli ve sabit konumdaki enerji üretimi

Şekil 7'de LDR'li sistemin hareketli ve sabit konumdaki toplam enerji üretim değerleri görülmektedir. Elde edilen veriler hareketli sistemde sabit sisteme göre daha fazla enerji üretimi yapıldığını göstermektedir.

Her üç sistemde günlük dakikalık periyotlarla akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Üç haftalık zaman dilimi içinde sabit ve hareketli sistemde elde edilen üretim değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

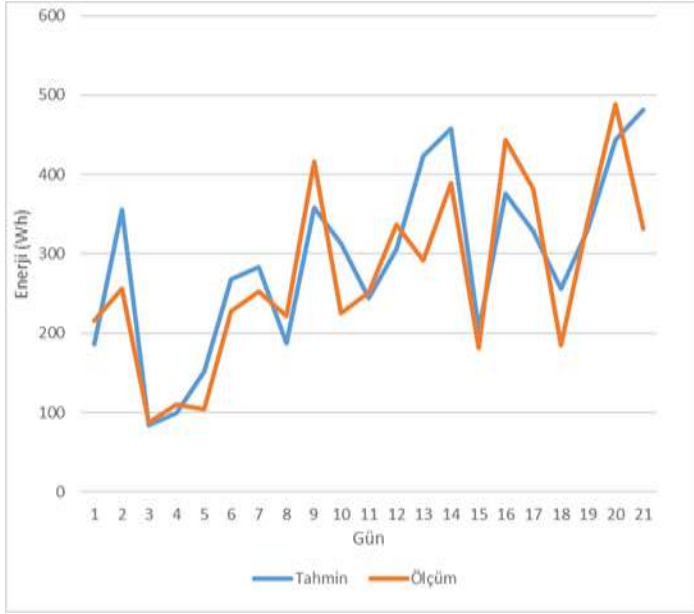
Tablo 6. Toplam enerji üretimleri

	LilyPad		SMD		LDR	
Hafta	Sabit	Hareketli	Sabit	Hareketli	Sabit	Hareketli
1	1249	1794	1256	1829	1228	1864
2	1778	2318	1788	2353	1748	2388
3	1846	2550	1846	2585	1809	2620

Sistemlerin kontrol devreleri aktif olmadan sabit konumda üretimleri farklı olmuştur. Kullanılan güneş panelleri aynı marka ve aynı güç çıkışına sahiptir. Fakat panellerin sürekli deney çalışmalarında kullanılması yapısal olarak farklı çıkış elde etmeye sebebiyet vermiştir. Buna ek olarak sistemlerin uygulama sahasında gölgeleme ve panel yüzeyinde kirlilik faktörü de etkili olmuştur. Sistemlerin konumlandırılması maksimum güneş ışığına maruz kalacak şekilde yapılmıştır.

Sistemlerin kontrol devresi çalıştırılıp hareketli konumda üretimleri kaydedilmiştir. Elde edilen veriler sabit konumdaki üretimlere göre yüksektir. Üç haftalık veriler sonucunda toplam üretim değerlerine göre sistemlerin verimlilik oranları belirlenmiştir. Lilypad sensörlü sistemden toplam 6663Wh enerji üretilmiştir. Aynı sistem sabit konumda 4875 Wh üretim yapmıştır. SMD sensörlü sistemden toplam 6768 Wh enerji üretilmiştir. Aynı sistem sabit konumda 4889 Wh üretim yapmıştır. LDR sensörlü sistemden toplam 6873 Wh enerji üretilmiştir. Aynı sistem sabit konumda 4786 Wh üretim yapmıştır.

Elde edilen veriler ışığında tahmin yöntemi olarak yapay sinir ağı kullanılmıştır. Güneş takip sisteminden elde edilen verilerle MATLAB üzerinde Yapay Sinir Ağları ile tahmin yapabilmek için veri setinde düzenlemeler yapılmıştır. İlk önce veri setindeki değerler normalize edilmiştir. Elde edilen değerler transpoze edilmiştir. Bu sayede veriler MATLAB'da kullanılacak matris haline dönüştürülmüştür. Programda kullanılmaya uygun hale getirilen dizi üzerinde girdi ve çıktı değişkenleri tanımlanmıştır. Yapay sinir ağları fonksiyonu oluşturulduktan sonra tahmin sistemi çalıştırılmıştır. Sistemde hata değerleri belirtilen değerlere yaklaşıncaya kadar işleme devam edilmiştir. Yapay sinir ağıyla oluşturulan modelde girdi olarak güneş ışınımı şiddeti verileri kullanılırken çıktı olarak panelin çıkış gücü elde edilmiştir.



Şekil 8. LilyPad Işık Sensörüne ait ölçülmüş verilerin ve test çıktılarının aynı grafik üzerinde görünümü

Şekil 8 incelendiğinde LilyPad Işık Sensörüne ait ölçülmüş verilerin ve test çıktılarının aynı grafik üzerinde görünümü verilmiştir. Kaydedilen veri sayısının az olması yapılan tahmin ile ölçülen değerlerler arasındaki hata oranının fazla olmasına sebebiyet vermiştir.

4. Giriş

Güneş enerji potansiyelinin yüksek olması artan enerji talebini karşılamada umut vaat etmektedir. Güneş enerjisinin sürekli olmaması bu sistemlerin anlık olarak maksimum verimlilikle çalıştırılmasını gerektirir. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan panellerin verimleri çok yüksek değildir. Güneş enerji sistemlerden daha yüksek verimlilikle enerji üretmek için güneş enerjisi takip sistemleri gündeme gelmektedir. Güneş takip sistemleri sabit sistemlere göre daha fazla güç çıktısı üretmektedir. Bu çalışmada deneysel amaçlı iki eksenli bir güneş takip sistemi tasarlanmış ve tasarlanan sistem üzerinden veriler elde edilmiştir. Mekanizmada hareketi sağlamak için servo motor kullanılmıştır. Üç farklı algılayıcı türü aynı anda üç sisteme monte edilip ürettikleri akım gerilim değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada güneş panellerinin sabit ve hareketli konumda toplam üretimleri karşılaştırıldığında hareketli konumda sabit konuma göre; LilyPad Işık Sensörlü sistemde %36,68 oranında, SMD Sensörlü sistemde %38,42 ve LDR'li sistemde %43,58 oranında artış görülmüştür.

Hareketli konumda algılayıcıların performansı karşılaştırılmıştır. Şekil 9'da algılayıcıların üç haftalık üretim değerleri çıktılarının durumu gösterilmiştir. Sistemlerin performansı birbiriyle karşılaştırıldığında en iyi sonuç LDR monte edilen güneş takip sisteminden alınmıştır. Diğer iki sistemin üretim performansı birbirine yakın değerler almıştır. Bunu sebebi ise bu iki sistemde kullanılan algılayıcıların benzer yapıda olmasıdır. Bu iki sistemde kullanılan algılayıcılar genellikle küçük boyutta uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu iki sistemin güç çıktısını artırmak için daha fazla sayıda sensör kullanılarak yüzey alanı artırılabilir. Bu sayede alınan güç çıktıları iyileştirilebilir.



Şekil 9. Algılayıcıların üç haftalık üretim değerleri

Literatürde güneş takip sistemleri konusu üzerinde birçok çalışma mevcuttur. Tek ve çift eksenli ya da kontrol mekanizmasına dayalı farklı metodolojiler kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmaların verimlilik oranı Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Literatürde yapılan çalışmaların verimlilik oranı

Yapılan Çalışmalar	Verimlilik Oranı %
Jamroen vd.	44.89
Makhija vd.	37
Mane vd.	26.42
Mohaimin vd.	8-12
Smirnov vd	33
Awad vd.	25

Genel olarak güneş takip sistemlerinin sabit sistemlere göre verimliliği yüksektir. Yapılan çalışmalar güneş takip sistemlerinin sabit sistemlere göre daha yüksek enerji çıktısı verdiğini göstermektedir. Tek veya çift eksenli farklı kontrol metodolojileri kullanan sistemlerde algılayıcı olarak LDR kullanılmıştır. Farklı geometride ve sayıda LDR kullanılarak verimlilik oranları araştırılmıştır. Bu çalışmada LDR kullanılan sistemin toplam üretiminde %43,58 oranında bir artış görülmüştür.

Verimliliği yüksek olmasına karşın güneş takip sistemlerinde birçok problem oluşmaktadır. Bu çalışmada düşük maliyetle bir tasarım yapılmıştır. Sistem devreye alınmadan önce kış aylarında çevresel etkilere karşı dayanımı gözlemlenmiştir. Sistemden kısa dönem veri alınması yapıldığında bozulma olmamıştır. Uzun vadede veri alımı yapılacaksa rüzgar sensörü eklemek makul olacaktır. Deney düzeneği kurulan alan çok rüzgar almaktadır. Bu durum sistemde rüzgar şiddetine bağlı problemler yaratabilmektedir. Rüzgar sensörü kullanmak olası arıza durumlarının önüne geçmemizi sağlayabilmektedir.

Güneş takip sistemleri sabit sistemlere göre daha fazla enerji üretimi sağlar. Bu sistemler sabit sistemlerden farklı olarak hareketli bir yapıya sahiptir. Bu sayede güneş ışınlarının geliş açısına doğru yönelerek sistemin maksimum verimlilikle üretim yapmasına olanak sağlamaktadır. Sistemin yüksek verimlilik

sağlamasına karşın hareket mekanizması ve güneş ışığı algılama donanımları ekstra bir maliyet ortaya çıkarmaktadır. Güneş takip sistemlerinin konumlandırılması detaylı bir fizibilite çalışması gerektirmektedir. Güneş takip sistemlerinin konumlandırılmasının iyi yapılamaması bu sistemlerden alınan verimin düşmesine sebebiyet verebilmektedir.

Kaynakça

- Alif Ismail, M., Ramanathan, K.A., Hafizi Idris, M., Ananda-Rao, K., Mazlan, M., Fairuz, N., (2020). Improving the Performance of Solar Panels by The Used of Dual Axis Solar Tracking System with Mirror Reflection, *Journal of Physics: Conference Series*, 1432, 012060.
- Allamehzadeh, H., (2019). An Update on Solar Energy and Sun Tracker Technology with a Dual Axis Sun Tracker Application, *IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, Chicago, IL, USA, 2037-2044.
- Al-Rousan, N., Mat Isa, N.A., Mat Desa, M.K., (2020). Efficient Single and Dual Axis Solar Tracking System Controllers Based on Adaptive Neural Fuzzy Inference System, *Journal of King Saud University- Engineering Sciences*.
- Altayeb, M., Abdalla, S., Mustafa, A.H., (2018). Dual Axis Solar Sun Tracking System Based on GPS Satellite Receiver and Embedded System, *2018 International Conference on Computer Control Electrical and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, Khartoum, 1-4.
- Amelia, A.R., Irwan, Y.M., Safwati, I., Leow, W.Z., Mat, M.H., Rahim, M.S.A., (2020). Technologies of Solar Tracking Systems: A Review, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 767, 012052.
- Ammach, S., Attia, A., (2019). Design and Implementation of Autonomous Energy Efficient Solar Tracking System for PV Power Plants, *International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications, ICECTA 2019*, 8959537.
- Awad, S.R., Al Jbaar, M.A., Abdullah, M.A.M., (2020). Efficient and Low-Cost Arduino based Solar Tracking System, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 745, 012016.
- Awasthi, A., Shukla, A.K., Murali Manohar, S.R., Dondariya, C., Shukla, K.N., Porwal, D., Richhariya, G., (2020). Review on Sun Tracking Technology in Solar PV System, *Energy Reports*, 6, 392-405.
- Away, Y., Ikhsan, M., (2017). Dual-axis Sun Tracker Sensor Based on Tetrahedron Geometry, *Automation in Construction* 73, 175-183.
- Benaboud, A., (2020). A Special Application of Power Electronics to the Field of Photovoltaic, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 624, 24-33.
- Farhan, A.J., (2020). Fabrication and Development Low Cost Dual Axis Solar Tracking System, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 757, 012042.
- Jamroen, C., Komkum, P., Kohsri, S., Himananto, W., Panupintu, S., Unkat, S., (2020). A Low-cost Dual-axis Solar Tracking System Based on Digital Logic Design: Design and Implementation, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100618.
- Makhija, S., Khatwani, A., Khan, M.F., Goel, V., Roja, M.M., (2017). Design & Implementation of An Automated Dual-axis Solar Tracker With Data-logging, *2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, Coimbatore, pp. 1-4.
- Mane, S.G., Korachagaon, I., Hans, M.R., Sawant, A.S., (2018). Simulation of Dual Axis Solar Tracking System, *2018 International Conference on Information Communication Engineering and Technology (ICICET)*, Pune, 1-5.
- Mohaimin, H., Uddin, M.R., Hashim, H., Tuah, N., Zahari, M.R., (2018). Design and Simulation of Single-axis and Dual-axis Solar Tracking Systems, *7th Brunei International Conference on Engineering and Technology 2018 (BICET 2018)*, Bandar Seri Begawan, Brunei, 1-4.
- Mohaimin, A.H., Uddin, M.R., Law, F.K., (2018). Design and Fabrication of Single-Axis and Dual-Axis Solar Tracking Systems, *2018 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, Selangor, Malaysia, 1-4.
- Mohd Said, M.N.A., Jumaat, S.A., Jawa, C.R.A., (2020). Dual Axis Solar Tracker With Iot Monitoring System Using Arduino, *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11, 451-458.
- Mustafa, F.I., Al-Ammri, A.S., Ahmad, F.F., (2017). Direct and Indirect Sensing Two-axis Solar Tracking System, *2017 8th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Amman, 1-4.
- Mustafa, F.I., Shakir, S., Mustafa, F.F., Naiyf, A.T., (2018). Simple Design and Implementation of Solar Tracking System Two Axis With Four Sensors for Baghdad City, *2018 9th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Hammamet, 1-5.
- Natarajan, S.K., Kumar, A., Mohamed, R., Rathna, R., Mondal, S., Suraparaju, S.K., (2019). Design and Development of Dual Axis Sun Tracking System for Floating PV Plant, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 312, 012001.
- Pattanaik, P., (2019). Dual Axis Tracker for Photovoltaic Panel, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8, 906-910.
- Salih, N.M., Said, M.S.M., Jamil, N., Davion, T., Yahaya, A.H., (2019). System Identification of a Solar Maximum Power Point Tracking System for Dual Axis, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8, 5653-5657.
- Smirnov, A.A., Vozmilov, A.G., Sulonov, O.O., (2020). Investigating the Effectiveness of Solar Tracking for PV Facility in Chelyabinsk, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 641, 501-508.
- Tiwari, N., Soni, R., Saraswat, A., Kumar, B., (2020). Comparative Simulation Study of Dual-axis Solar Tracking System on Simulink Platform, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 607, 359-365.
- Zhu, Y., Liu, J., Yang, X., (2020). Design and Performance Analysis of A Solar Tracking System With A Novel Single-axis Tracking Structure to Maximize Energy Collection *Applied Energy*, 264, 114647.



Veri Madenciliği ile Türkiye'deki ve Avrupa Birliği Ülkelerindeki Bilgisayar Mühendisliği Programlarının Karşılaştırılması

Seda Kılıçer^{1,2*}, Ruya Samli²

^{1*} Beykent Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3464-6219), sedakilicer@beykent.edu.tr

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8723-1228), ruyasamli@istanbul.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 26 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.873157)

ATIF/REFERENCE: Kılıçer, S. & Samli, R. (2021). Veri Madenciliği İle Türkiye'deki Ve Avrupa Birliği Ülkelerindeki Bilgisayar Mühendisliği Programlarının Karşılaştırılması. (25), 120-130.

Öz

Veri madenciliği birçok alanda kullanılmaktadır. Veri madenciliği ile amaçlanan insanlar için ilk bakışta bir anlam ifade etmeyen verilerden insanlar için faydalı olabilecek bilgiler elde edilebilmesidir. Bu çalışmada veri madenciliği eğitim alanında kullanılmıştır. Bu çalışmada amaçlanan Türkiye'deki üniversitelerde ve Avrupa Birliği ülkelerindeki üniversitelerde bilgisayar mühendisliği lisans programlarının dersleri veri madenciliği yöntemleriyle sınıflandırılarak birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için Türkiye'deki 80 adet üniversitenin bilgisayar mühendisliği lisans ders listeleri ve Türkiye'deki üniversitelerle Erasmus programı anlaşması bulunan Avrupa Birliği ülkelerindeki 29 adet üniversitenin bilgisayar mühendisliği lisans ders listeleri toplanmış ve incelenmiştir. Elde edilen veriler veri madenciliği sınıflandırma algoritmalarından Naive Bayes algoritması ve J48 karar ağacı algoritması kullanılarak Weka platformunda analiz edilmiştir. Derslerin çeşitliliklerinin incelenebilmesi için dersler "Temel Dersler, Matematik Dersleri, Yazılım Dersleri, Donanım Dersleri, Yapay Zeka Dersleri, Ağ Güvenlik Dersleri, Ek Dersler, Bölüm İçi Seçmeli Dersler, Bölüm Dışı Seçmeli Dersler" olmak üzere 9 tane sınıfa ayrılmıştır. Çalışma sonucunda Türkiye'deki üniversitelerdeki bilgisayar mühendisliği ders çeşitliliğinin Yapay Zeka Dersleri, Ağ Güvenliği Dersleri, Bölüm Dışı Seçmeli Dersler ve Ek Dersler sınıflarında Avrupa Birliği ülkelerindeki üniversitelerin bilgisayar mühendisliği bölümlerindeki ders çeşitliliğinden fazla olduğu; Matematik Dersleri, Donanım Dersleri, Yazılım Dersleri, Bölüm İçi Seçmeli Dersler ve Temel Dersler sınıflarına ait derslerde ise Avrupa Birliği ülkelerindeki bilgisayar mühendisliği bölümlerinden daha az olduğu görülmüştür. Bu çalışmadaki bir diğer incelenen durum ise derslerin kredileri ile AKTS'lerinin (Avrupa Kredi Transfer Sistemi) kıyaslanmasıdır. Türkiye'deki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından ve Avrupa Birliği'ndeki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından veri elde edilirken derslerin kredi ve AKTS miktarındaki farklılık dikkat çekmiştir. Bu sebeple belirlenen ders sınıflarına göre kredi ortalamaları hesaplanarak Türkiye'deki derslerin kredi ortalamaları ile Avrupa Birliği'ndeki derslerin kredi ortalamaları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile Erasmus yapan öğrencilerin Avrupa Birliği'ndeki üniversitelerden aldıkları dersleri Türkiye'deki okuduğu üniversitede eşleştirme sırasında yaşadığı zorluğa da dikkat çekmek hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Veri madenciliği, Karar Ağaçları, Naive Bayes, J48, Eğitim, Bilgisayar Mühendisliği Programı

A Comparison of Computer Engineering Programs in Turkey and European Community Countries by Data Mining

Abstract

Using data mining in many areas, it is tried to obtain useful information for people from meaningless data sets. In this study, data mining was used in the education field. This study was a comparison of computer engineering at universities in European Union countries and Turkey intended in the course of classified data mining methods with each other. Erasmus program agreements with 29 pieces of computer engineering university course listings in comparison to the 80 European Union countries with this university computer engineering course listings in Turkey, and these listings have been collected and analyzed. These data obtained were analyzed by Weka platform using Naive Bayes algorithm and J48 decision tree algorithm, which are among data mining classification algorithms. In order to examine the courses, the courses are divided into 9 classes as "Basic Courses, Mathematics Courses, Software Courses, Hardware

* Sorumlu Yazar: sedakilicer@beykent.edu.tr

Courses, Artificial Intelligence Courses, Network Security Courses, Additional Courses, In-Departmental Elective Courses, Non-Departmental Elective Courses". As a result of the study, Artificial Intelligence Courses, Network Security Courses, Non-Departmental Elective Courses, Additional Courses in Turkey are more than just computer engineering departments in European Union countries. It has been observed that the courses of Mathematics Courses, Hardware Courses, Software Courses, Departmental Elective Courses and Basic Courses are less than the computer engineering departments in European Union countries. Another situation examined in this study is the comparison of the credits of the courses. In these courses in Turkey and European Union while acquiring data from undergraduate programs and has noted differences in the ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System) credit amount. Therefore courses determined by calculating the average credit based on their grade average credit courses credit courses in European Union were compared with the average in Turkey. This makes working with Erasmus students from courses taken at universities in European Union are aimed to draw attention to the difficulties faced in college he/she reads during pairing in Turkey.

Keywords: Data mining, Decision Trees, Naive Bayes, J48, Education, Computer Engineering Program

1. Giriş

Teknolojik alandaki gelişmelerle birlikte insanlar daha hızlı ve rahat bir şekilde işlemlerini yapabilmek için internet tabanlı uygulamaları daha çok tercih etmektedir. Bu durum daha fazla verinin dijital ortamda tutulmasına sebep olmuştur. Sürekli artan veriler işlenerek insanlar için faydalı bilgilerin elde edilmesi istenmiştir. Böylece veri madenciliğine ihtiyaç duyulmuştur.

Veri madenciliğinde büyük miktardaki veriler analiz edilmektedir. Bu veriler veri tabanlarında kullanıma uygun formatlarda tutularak, verilere hızlı şekilde ulaşılabilmesi sağlanmalıdır. Veri madenciliğiyle ilk bakışta ilişki kurulamayam veriler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Veri madenciliğiyle veri setleri arasındaki anlamsız ilişkiler, verilerin analiz yöntemleri ve çeşitli yazılım teknikleri kullanılarak elde edilmeye çalışılır (Akgöbek ve Çakır, 2019).

Veri madenciliği, çok büyük miktardaki ve çeşitli verilerin içindeki fark edilmemiş bilgilerin keşfedilerek bu bilgilerin gelecekle ilgili kararlarda daha sağlıklı ilerleyebilmek amacıyla kullanılmasıdır. Büyük ve anlamsız veriler kullanılarak, sonuçlar hakkında tahminde bulunulabilecek verileri elde edebilmek için bağlantı ve kuralların aranmadır. İlk bakışta bir anlam ifade etmeyen verilerin arasında bulunan ilişkilerin belirlenmesinde bilgisayar kullanılmaktadır (Dener vd., 2009).

Veri madenciliği, birçok sektör için büyük bir öneme sahiptir. Hızla artmakta olan verilerin analiz edilebilmesi ve elde edilen verilerin yorumlanabilmesi için ilişkisel veri tabanlarının kullanılması yeterli olmamıştır. Hızlı bir şekilde dijital ortamdaki verilerin artmasıyla birçok sektör veri madenciliğini kullanmak istemiştir. Bu durum büyük miktardaki verilerin otomatik olarak analiz edilebilmesi için akıllı analiz tekniklere ihtiyaca sebep olmuştur (Savas vd., 2012).

Veri madenciliği yapılarak elde edilen sonuçlar tek başına bir anlam ifade etmemesine rağmen çözüme ulaşabilmek için karar verilmesi gereken durumlarda karar süresinde yardım ederek problemin çözümünü kolaylaştırmaktadır (Baykal, 2006).

Veri madenciliği ile anlamlı bir bilgi elde edilebilmesi için elimizde sağlıklı verilerin olması gerekmektedir. Bunun için veri madenciliği yapılmadan önce toplanan veriler üzerinde çeşitli işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Stolz vd., 2007):

- Verinin toplaması
- Verinin temizlemesi ve dönüştürülmesi
- Modelin kurulması
- Modelin değerlendirilmesi
- Raporlama

İnternetin gelişmesiyle birlikte birçok alanda kullanılabilecek veriler elde edilmektedir. Bunun için veri madenciliğine birçok alanda ihtiyaç duyulmuştur. Veri madenciliğinden bankacılık, sağlık, mühendislik, iktisat, ekonomi, endüstri gibi alanlarda faydalanılmıştır. Bu çalışmada veri madenciliği eğitim alanındaki veriler üzerinde uygulanarak eğitim ile ilgili sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 1'de 2006-2014 yılları arasında Türkiye'de gerçekleştirilen eğitim alanındaki veri madenciliği çalışmaları özetlenmiştir. Bu makalede ayrıca makale yazarlarının konu ile ilgili önceki çalışmalarına başvurulmuştur. Bu çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Türkiye'deki ve Avrupa'daki üniversitelerin bilgisayar mühendisliği lisans ders içerikleri karşılaştırılmıştır (Kilicer ve Samli, 2018).
- Türkiye'deki elektrik ve elektronik mühendisliği programındaki derslerin dağılımları incelenmiştir (Kilicer ve Samli, 2019).
- Türkiye'deki ve Çin'deki bilgisayar mühendisliği bölümleri karşılaştırılmıştır (Kilicer ve Samli, 2020).

2. Materyal ve Metot

2.1. Verilerin Toplanması

Bu çalışma için bilgisayar mühendisliği bölümü olan Türkiye'deki 80 üniversite incelenmiştir ve bilgisayar mühendisliği lisans programlarından 6835 ders listesi elde edilmiştir. Türkiye'deki üniversitelerin bilgisayar mühendisliği bölümü ile Erasmus programı anlaşması yaptığı Avrupa Birliği'ndeki 29 üniversitenin bilgisayar mühendisliği lisans programlarından 1220 dersten oluşan bir veri elde edilmiştir. Bu veriler üniversitelerin web sitelerinden elde edilmiştir. Bilgisayar mühendisliği web sayfalarına girilerek lisans ders listelerindeki ders bilgileri toplanmıştır. Üniversitelerin web sitelerinden ders bilgileri elde edilmesi sırasında ders isimlerine ek olarak dersin kredi bilgileri de toplanarak ders sınıflarının kredi kıyaslamasında kullanılmıştır. Aşağıda Türkiye'de üzerinde çalışılan 80 üniversite (alfabetik sırada) ve Avrupa Birliği'nde, üzerinde çalışılan üniversiteler (alfabetik sırada) ve bu üniversitelerin buldukları ülkeler gösterilmiştir. Her üniversitenin web sitesinden veriler tek tek alındıktan sonra tüm veriler birleştirilmiştir. Verilerin birleştirilebilmesi için ilk olarak elde edilen veriler üzerinde veri temizleme, veri dönüştürme gibi işlemler yapılarak tüm veriler aynı formata ve düzenli bir şekle dönüştürülmüştür. Türkiye'deki üniversitelerin bilgisayar mühendisliği lisans bölümlerinden ve Erasmus anlaşması olduğu Avrupa Birliği'ndeki üniversitelerin bilgisayar mühendisliği lisans bölümlerinden ders isimleri kredi ya da AKTS bilgileri ve dersin zorunlu ya da seçmeli olması bilgileri toplanmıştır. Elde edilen veri kümesinde farklı üniversitelerden toplanan aynı isimli ve aynı koşullara sahip olan (kredi ve zorunlu-seçmeli olma

durumu) derslerden bir tane kalacak şekilde tekrara sebep olan veriler temizlenmiştir. Bu durumda Türkiye’deki üniversitelerden elde edilen ders listesi sayısı 6835’ten 5527’ye düşmüştür. Aynı işlem Avrupa Birliği’ndeki üniversitelerden elde edilen veriler için de yapıldığında 1220 olan veri sayısı 1192 olmuştur. Elde edilen derslerin sınıflandırılabilirliği ve derslerin çeşitliliğinin analiz edilebilmesi için dersler “Temel Dersler, Matematik Dersleri, Yazılım Dersleri, Donanım Dersleri, Yapay Zeka Dersleri, Ağ Güvenlik Dersleri, Ek Dersler, Bölüm İçi Seçmeli Dersler, Bölüm Dışı Seçmeli Dersler” olmak üzere 9 sınıfa ayrılmıştır. Dersler sınıflara ayrılarak Türkiye’deki ve Avrupa Birliği’ndeki eğitimde ders çeşitliliğinin hangi alanlarda nasıl

dağıldığı incelenerek Türkiye’de bilgisayar mühendisliği bölümünde artırılması gereken ders alanlarının belirlenmesi ve eğitim kalitesinin yükseltilmesi amacıyla önerilerde bulunulması hedeflenmiştir. Ayrıca belirlenen ders sınıflarına göre kredi ortalamaları incelenerek ders çeşitliliğine ek olarak derslerin kredi bilgisinde de değişikliklerin yapılarak derslere gereken önemin verilebilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca kredi ve AKTS arasındaki farkın Erasmus programı ile Avrupa Birliği’ndeki bilgisayar mühendisliği programına giden öğrencilerin orada aldıkları dersleri geri geldiklerinde eşleştirebilmek için yaşadıkları sorunların gözlemlenebilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 1. Türkiye’de Eğitim Alanındaki Veri Madenciliği Çalışmaları

Yılı	Çalışma Alanı	Amacı	Kullandığı Algoritma(lar)	Kaynak
2006	Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi	KPSS sonuçlarının tahmin edilmesi	Yapay Sinir Ağları, Regresyon Analizi	(Özçınar, 2006)
2007	Atatürk Üniversitesi	mezun olunan lise türleri ile kazanılan fakültelerin arasındaki ilişkinin tespit edilmesi	Sınıflandırma Yöntemleri	(Ayık vd., 2007)
2007	Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi	bilgisayar kullanımı ve öğrenci başarısı arasındaki ilişkinin incelenmesi	C5.0 Karar Ağacı, kNN	(Aydın,2007)
2011	çeşitli kız meslek liseleri	öğrencilerde başarısızlıklara neden olan etkenlerin incelenmesi	kNN, K-Medoids	(Birtül, 2011)
2011	Selçuk Üniversitesi	öğrencilerle hakkında gelecekle ilgili tahmin yapılabilmesi için gerekli birliktelik kuralları çıkarılması	Apriori Algoritması, Karar Ağaçları	(Ekim, 2011)
2011	çeşitli dershaneler	dershane eğitim programına göre üniversiteye yerleşme durumlarının incelenmesi	Karar Ağaçları, Bayes Sınıflandırıcıları, Birliktelik Kuralları, Apriori Algoritması	(Hatipoğlu vd., 2011)
2012	üniversite giriş sınavına girenler	üniversiteye giriş sınavında öğrencilerin başarılarının tahmin edilmesi	Naive Bayes Algoritması	(Göker, 2012)
2012	meslekî eğitim alanlar	meslekî eğitimin öğrenci başarısına etkisinin ortaya çıkartılması	kNN, C5.0 Karar Ağacı	(Yelegin, 2012)
2012	Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü	öğrencilerin ders notlarını etkileyen faktörlerin tespit edilmesi	SimpleCART Algoritması	(Alan, 2012)
2012	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi	öğrenci başarısını etkileyen faktörlerin incelenmesi	CRT, CHAID, Yapay Sinir Ağları, Apriori, kNN	(Kurt ve Erdem, 2012)
2013	Fırat Üniversitesi Eğitim Fakültesi	öğrencilerin mezuniyet notlarının tahmin edilmesi	Yapay Sinir Ağları, Karar Ağaçları	(Şengür, 2013)
2013	Kocaeli Üniversitesi Temel Bilgi Teknolojileri Kullanımı dersini alanlar	öğrencilerin bilgisayar okuryazarlığını etkileyen faktörlerin etkisinin tespit edilmesi	Min-Max Normalleştirme, ZScore normalleştirme	(Çoban Budak, 2013)
2013	Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi ile Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi	yükseköğretimde öğrenci başarılarının sınıflandırılması	Yapay Sinir Ağları, Lojistik Regresyon Analizi	(Çırak ve Çokluk, 2013)
2013	Fırat Üniversitesi	öğrencilerin akıllı tahtaya ilişkin tutumlarının incelenmesi	Apriori Algoritması	(Hark, 2013)
2014	İstanbul ilinde 2011 yılındaki LYS sınavına giren liseliler	LYS başarılarına göre okul performanslarının incelenmesi	CHAID Algoritması	(Bilen vd., 2014)
2014	Ankara Yasemin Karakaya Bilim ve Sanat Merkezi’nde öğrenim gören yaşları üstün yetenekliler	üstün yetenekli öğrencilerin ilgi alanlarının analizi	JRip algoritması	(Çöllüoğlu Gülen, 2014)
2014	Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Uzaktan Eğitim Bölümleri	mühendislik fakültesi uzaktan eğitim bölümlerinin analizi	Lojistik Regresyon Analizi	(Taşdelen, 2014)
2014	Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	öğrenci verilerinin sınıflandırılması	LADTree Algoritması	(Alan, 2014)
2014	Hacettepe Üniversitesi Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi bölümü	çevrimiçi öğrenme ortamındaki etkileşim verilerine göre öğrencilerin performanslarının modellenmesi	kNN	(Akçapınar, 2014)

Türkiye’de incelenen üniversiteler şunlardır;

1. Abant İzzet Baysal Üniversitesi
2. Abdullah Gül Üniversitesi
3. Akdeniz Üniversitesi
4. Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi
5. Amasya Üniversitesi
6. Anadolu Üniversitesi
7. Ankara Üniversitesi
8. Antalya Bilim Üniversitesi
9. Atatürk Üniversitesi
10. Atılım Üniversitesi
11. Avrasya Üniversitesi
12. Bahçeşehir Üniversitesi
13. Balıkesir Üniversitesi
14. Başkent Üniversitesi
15. Batman Üniversitesi
16. Beykent Üniversitesi
17. Bursa Teknik Üniversitesi
18. Bülent Ecevit Üniversitesi
19. Cumhuriyet Üniversitesi
20. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
21. Çankaya Üniversitesi
22. Doğuş Üniversitesi
23. Dokuz Eylül Üniversitesi
24. Dumlupınar Üniversitesi
25. Düzce Üniversitesi
26. Ege Üniversitesi
27. Erciyes Üniversitesi
28. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
29. Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi
30. Fırat Üniversitesi
31. Galatasaray Üniversitesi
32. Gazi Üniversitesi
33. Hitit Üniversitesi
34. Işık Üniversitesi
35. İnönü Üniversitesi
36. İstanbul Arel Üniversitesi
37. İstanbul Aydın Üniversitesi
38. İstanbul Gelişim Üniversitesi
39. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi
40. İstanbul Şehir Üniversitesi
41. İstanbul Üniversitesi
42. İstanbul Teknik Üniversitesi
43. İzmir Ekonomi Üniversitesi
44. Kadir Has Üniversitesi
45. Karabük Üniversitesi
46. Karadeniz Teknik Üniversitesi
47. Kastamonu Üniversitesi
48. Kocaeli Üniversitesi
49. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi
50. Namık Kemal Üniversitesi
51. Necmettin Erbakan Üniversitesi
52. Nişantaşı Üniversitesi
53. Okan Üniversitesi
54. Ortadoğu Teknik Üniversitesi
55. Özyeğin Üniversitesi
56. Pamukkale Üniversitesi

57. Sakarya Üniversitesi
58. Selçuk Üniversitesi
59. Siirt Üniversitesi
60. Süleyman Demirel Üniversitesi
61. Sütçü İmam Üniversitesi
62. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
63. Trakya Üniversitesi
64. Üsküdar Üniversitesi
65. Bozok Üniversitesi
66. Hasan Kalyocu Üniversitesi
67. Mersin Üniversitesi
68. Yıldız Teknik Üniversitesi
69. Boğaziçi Üniversitesi
70. Harran Üniversitesi
71. Marmara Üniversitesi
72. Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
73. Bilkent Üniversitesi
74. Hacettepe Üniversitesi
75. Yeditepe Üniversitesi
76. Manisa Celal Bayar Üniversitesi
77. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
78. Gebze Teknik Üniversitesi
79. Maltepe Üniversitesi
80. Yalova Üniversitesi

Avrupa Birliği’nde incelenen üniversiteler şunlardır;

1. 1 Decembrie 1918" University Of Alba Iulia (Romanya)
2. Agh University Of Science And Technology (Polonya)
3. Fachhochschule Landshut - Hochschule Für Wirtschaft – Sozialwesen – Technik (Almanya)
4. Fh Joanneum University Of Applied Sciences (Avusturya)
5. Freie Universitaet Berlin (Almanya)
6. Halmstad University (İsveç)
7. Lodz University Of Technology (Polonya)
8. Paris Ix Dauphine (Fransa)
9. Politecnico De Coimbra (Portekiz)
10. Polytechnic Institute Of Guarda (Portekiz)
11. Polytechnic Institute of Viana do Castelo (Portekiz)
12. Rezekne Academy Of Technology Latvia (Letonya)
13. Riga Technical University (Letonya)
14. Technical University Of Ostrava (Çek Cumhuriyeti)
15. Technical University-Sofia (Bulgaristan)
16. Th Mittelhessen (Almanya)
17. Universida De Lisboa (Portekiz)
18. Universidad De Murcia (İspanya)
19. Università Degli Studi Del Sannio (İtalya)
20. University Of Beira Interior (Portekiz)
21. University Of Bradford (İngiltere)
22. University Of Groningen (Hollanda)
23. University Of Koblenz Landau (Almanya)
24. University Of Piraeus (Yunanistan)
25. University Of Ruse (Bulgaristan)

26. Universitat Politecnica De Catalunya-Barselona Tech (İspanya)
27. Warsaw University Of Technology (Polonya)
28. Wroclaw University Of Technology (Polonya)
29. Wsb-Technicka Univerzita Ostrava (Çek Cumhuriyeti)

2.2. Kullanılan Algoritmalar

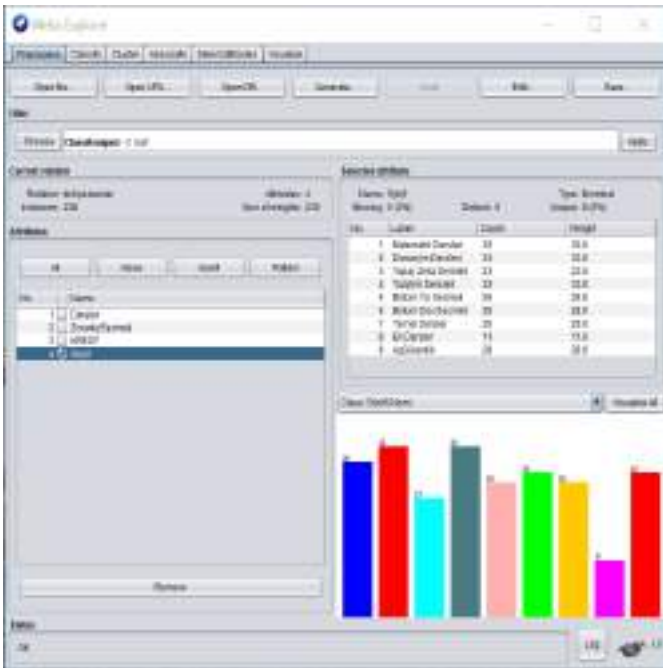
Bu çalışmada verilerin sınıflandırılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için Weka platformu kullanılmıştır. Weka platformu içerisinde bulunan ve sınıflandırma konusunda başarılı sonuçların elde edilmesini sağlayan algoritmalarından Naive Bayes ve J48 algoritmaları verilerin sınıflandırılmasında tercih edilmiştir.

2.2.1. Naive Bayes Algoritması ile Türkiye'deki ve Avrupa Birliği'ndeki Ders Dağılımının Tespit Edilmesi

Naive Bayes algoritması bir veri kümesindeki değerlerin frekanslarını sayarak bir olasılık kümesini hesaplayan bir olasılıksal sınıflandırıcıdır. Bayes algoritması, sınıf değişkeninin değeri göz önüne alındığında tüm özniteliklerin bağımsız olduğunu varsayar (Patil ve Sherekar, 2013).

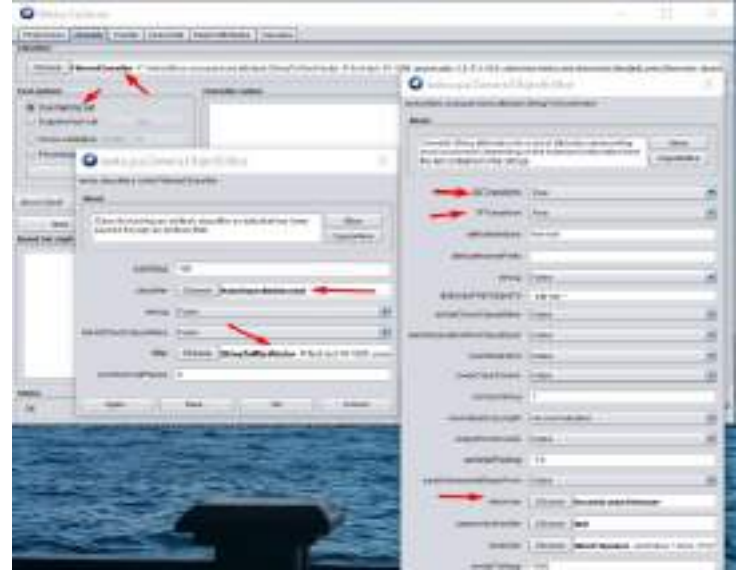
Naive Bayes algoritmasının önemli avantajlarından biri parametrelerin tahmin edilmesinde fazla eğitim verisine ihtiyaç duymamaktadır (Farhad Alam ve Pachauri, 2017).

Veri madenciliği kullanılarak sınıflandırma yapılırken ilk olarak sistem eğitilmelidir. Bu çalışmada veri seti oluşturulurken Türkiye'deki üniversitelerden elde edilen derslerin isimleri, kredi bilgileri, zorunlu-seçmeli olma bilgisi kullanılmıştır. Elde edilen bu verilerin bir kısmı eğitim verisi olarak ayrılmış ve bu eğitim seti Weka platformuna eklenerek sistem önce eğitilmiştir. Eğitim verilerinde veri setindeki her dersin ait olduğu sınıf bilgisi eklenerek sisteme dersler ve sınıf bilgileri arasındaki ilişki öğretilmiştir. Şekil 1'de Türkiye'deki ders listesinden elde edilen verilerden eğitim için kullanılan verilerin Weka platformuna yüklenmiş hali görülmektedir.



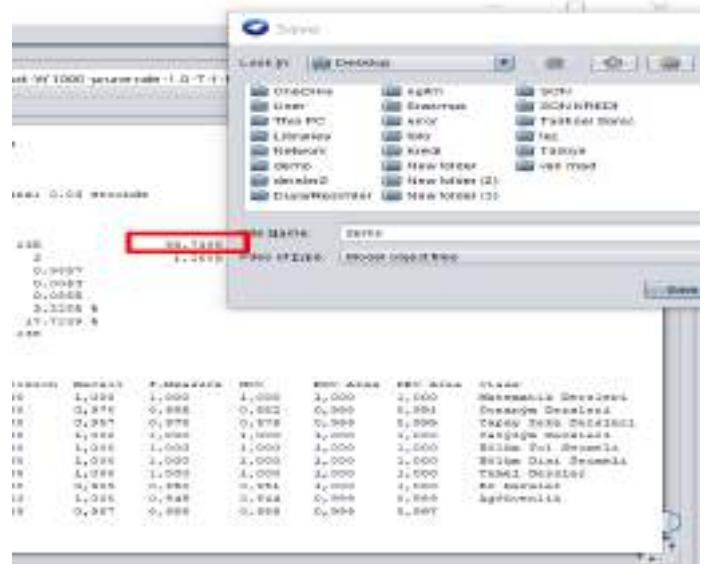
Şekil 1. Türkiye'deki Ders Listesinin Yüklenmesi

Sisteme eğitim verileri yüklendikten sonraki adımda bu verilerin hangi algoritma kullanılarak eğitileceği belirlenmelidir. Eğitim için algoritmanın belirlenmesi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Türkiye'deki Dersler İçin Sınıflandırma Algoritmasının Seçilmesi – Naive Bayes

Weka platformuna eğitim verileri eklenerek program çalıştırıldığında %98,7'lik bir başarı elde edilmiştir. Şekil 3'te eğitim verilerinin uygun algoritma seçilerek çalıştırılmış hali görülmektedir.



Şekil 3. Türkiye'deki Dersler İçin Eğitim Dosyasının Çalıştırılması – Naive Bayes

Sistem için eğitim işlemi tamamlandıktan sonra derslerin sınıflarını belirleyebilmek için tüm veriler sisteme yüklenmektedir. Şekil 4'te Türkiye'deki derslerin Naive Bayes algoritmasına göre sisteme yüklendikten sonra derslerin sınıflarının belirlenmesi görülmektedir.

Kurs ID	Kurs Adı	Değer
5478	117 71980118 DERSİ	0,43
5479	117 71980118 DERSİ	0,724
5480	117 71980118 DERSİ	0,407
5481	117 71980118 DERSİ	0,407
5482	117 71980118 DERSİ	0,505
5483	117 71980118 DERSİ	0,505
5484	117 71980118 DERSİ	0,505
5485	117 71980118 DERSİ	0,505
5486	117 71980118 DERSİ	0,505
5487	117 71980118 DERSİ	0,505
5488	117 71980118 DERSİ	0,505
5489	117 71980118 DERSİ	0,505
5490	117 71980118 DERSİ	0,505
5491	117 71980118 DERSİ	0,505
5492	117 71980118 DERSİ	0,505
5493	117 71980118 DERSİ	0,505
5494	117 71980118 DERSİ	0,505
5495	117 71980118 DERSİ	0,505
5496	117 71980118 DERSİ	0,505
5497	117 71980118 DERSİ	0,505
5498	117 71980118 DERSİ	0,505
5499	117 71980118 DERSİ	0,505
5500	117 71980118 DERSİ	0,505

Şekil 4. Türkiye’deki Derslerin Sınıflandırılması

Naive Bayes algoritması kullanılarak Türkiye’deki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen derslerin sınıflandırılmasından sonra bu üniversitelerin Erasmus anlaşmasına sahip olduğu Avrupa Birliği’ndeki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen derslerin ismi, AKTS bilgisi ve zorunlu-seçmeli olduğu bilgisi alınarak oluşturulan veriler ile de aynı işlemler yapılmıştır. Şekil 5’te Avrupa Birliği’ndeki üniversitelerden elde edilen verilerin Naive Bayes algoritması kullanılarak sınıflandırılması sonucunda derslerin sınıf bilgisi görülmektedir.

Kurs ID	Kurs Adı	Değer
1285	117 71980118 DERSİ	1
1286	117 71980118 DERSİ	1
1287	117 71980118 DERSİ	1
1288	117 71980118 DERSİ	0,505
1289	117 71980118 DERSİ	0,505
1290	117 71980118 DERSİ	0,505
1291	117 71980118 DERSİ	0,505
1292	117 71980118 DERSİ	0,505
1293	117 71980118 DERSİ	0,505
1294	117 71980118 DERSİ	0,505
1295	117 71980118 DERSİ	0,505
1296	117 71980118 DERSİ	0,505
1297	117 71980118 DERSİ	0,505
1298	117 71980118 DERSİ	0,505
1299	117 71980118 DERSİ	0,505
1300	117 71980118 DERSİ	0,505
1301	117 71980118 DERSİ	0,505
1302	117 71980118 DERSİ	0,505
1303	117 71980118 DERSİ	0,505
1304	117 71980118 DERSİ	0,505
1305	117 71980118 DERSİ	0,505
1306	117 71980118 DERSİ	0,505

Şekil 5. Avrupa Birliği’ndeki Derslerin Sınıflandırılması

2.2.2. J48 Algoritması ile Türkiye’deki ve Avrupa Birliği’ndeki Ders Dağılımının Tespit Edilmesi

Karar ağacı algoritmaları bilgi temsil etmek için kullanılan klasik yollardan biridir. Karar ağacı algoritmalarıyla veriler özyinelemeli şekilde sınıflandırılır. Karar ağacı algoritmaları kullanılarak veri yapıları hızlı bir şekilde ifade edilir (Nizam ve Akın, 2014). Bir karar ağacının iç düğümleri farklı nitelikleri gösterirken düğümler arasındaki dallar ise bu özelliklerin gözlemlenen örneklerde sahip olabileceği olası değerleri verir. Terminal düğümler ise bağımlı değişkenlerin son sınıfını gösterir. Bu algoritma hedef sınıf için entropi değerini hesaplar ve daha sonra tahmin edici sınıf için bilgi değerini hesaplar ve bilgi kazanımını hesaplar. Bu hesaplamalardan en yüksek bilgi kazanımını sağlayan sınıf tespit edilir (Farhad Alam ve Pachauri, 2017). Karar ağaçları verilerden basit sınıflandırma modeli oluşturmayı amaçlar. Ağaç üzerinde ilerlerken bir yolu seçer ve alternatif yollar içinden daha iyi olabilecek çözümleri kaçırabilir. J48 algoritması J48 karar ağacı algoritmasının Weka platformundaki java uygulamasıdır (Altınkardeş vd., 2012).

Naive Bayes algoritması kullanılarak verilerin sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra başka bir algoritma ile aynı işlem tekrarlanarak algoritma seçimi konusunda emin olabilmek ve farklı algoritmaları kıyaslayabilmek için Türkiye’deki ve Avrupa Birliği’ndeki üniversitelerden elde edilen veriler J48 algoritması kullanılarak incelenmiştir.

Türkiye’deki ve Avrupa Birliği’ndeki üniversitelerden elde edilen bilgisayar mühendisliği lisans derslerinin sınıflandırılmasında ilk olarak eğitim dosyası sisteme yüklenerek, sistem J48 algoritmasına göre eğitilmiştir. Eğitim sonundaki başarı oranı %75,6 olarak elde edilmiştir. Şekil 6’da eğitim sonunda elde edilen başarı oranı görülmektedir.

Kurs ID	Kurs Adı	Değer
1307	117 71980118 DERSİ	0,505
1308	117 71980118 DERSİ	0,505
1309	117 71980118 DERSİ	0,505
1310	117 71980118 DERSİ	0,505
1311	117 71980118 DERSİ	0,505
1312	117 71980118 DERSİ	0,505
1313	117 71980118 DERSİ	0,505
1314	117 71980118 DERSİ	0,505
1315	117 71980118 DERSİ	0,505
1316	117 71980118 DERSİ	0,505
1317	117 71980118 DERSİ	0,505
1318	117 71980118 DERSİ	0,505
1319	117 71980118 DERSİ	0,505
1320	117 71980118 DERSİ	0,505
1321	117 71980118 DERSİ	0,505
1322	117 71980118 DERSİ	0,505
1323	117 71980118 DERSİ	0,505
1324	117 71980118 DERSİ	0,505
1325	117 71980118 DERSİ	0,505
1326	117 71980118 DERSİ	0,505
1327	117 71980118 DERSİ	0,505
1328	117 71980118 DERSİ	0,505
1329	117 71980118 DERSİ	0,505
1330	117 71980118 DERSİ	0,505

Şekil 6. Türkiye’deki Dersler İçin Eğitim Dosyasının Çalıştırılması

Sistem eğitimi tamamlandıktan sonra Naive Bayes algoritmasında olduğu gibi önce Türkiye’deki üniversitelerin bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen tüm veriler daha sonra da Avrupa Birliği’ndeki üniversitelerin bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen tüm veriler sisteme yüklenerek J48 algoritması kullanılarak her dersin ait olduğu sınıf belirlenmeye çalışılmıştır.

2.2.3. Naive Bayes Algoritması ile Türkiye'deki ve Avrupa Birliği'ndeki Ders Kredisinin Dağılımının Tespit Edilmesi

Türkiye'deki ve Avrupa Birliği'ndeki üniversitelerden verilerin toplanmasında derslerin kredi ve AKTS sayıları arasındaki fark dikkat çekmiştir. Bu durum Erasmus programından faydalanan öğrenciler için ders eşitlenmesi sırasında bir zorluk oluşturduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca öğrenciler için dersin önemini belirleyen ders kredilerinin sınıflara göre dağılımının nasıl olduğu inceleyebilmek için veri madenciliği ile kredilerin dağılımları da incelenmiştir.

Ders kredilerinin incelenmesinde doğruluk oranı daha yüksek olan Naive Bayes algoritması kullanılarak elde edilen Türkiye'deki bilgisayar mühendisliği lisans programları ve Avrupa Birliği'ndeki bilgisayar mühendisliği lisans programları derslerinin sınıflara göre dağılımları kullanılmıştır. Veri madenciliğiyle derslerin sınıf bilgileri bulunması sırasında derslerin kredi bilgileri de hazırlanan veri dosyasında bulunmaktadır. Naive Bayes algoritması kullanılarak elde edilen Türkiye'deki bilgisayar mühendisliği lisans ders sınıflarına ait olan derslerin kredi bilgileri kullanılarak her sınıfın ortalama kredi oranları bulunmuştur. Aynı şekilde Avrupa Birliği'ndeki bilgisayar mühendisliği lisans ders sınıflarına ait olan derslerin kredi bilgileri kullanılarak her sınıfın ortalama kredi oranları bulunmuştur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada Türkiye'deki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından ve Avrupa Birliği ülkelerindeki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen ders verileri Naive Bayes algoritması ve J48 algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Türkiye'deki ve Avrupa Birliği'ndeki üniversitelerdeki derslerin ders sınıflarına göre dağılımları incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada Naive Bayes algoritması kullanılarak yapılan sınıflandırmaya göre ders sınıflarının kredi ve AKTS dağılımları incelenmiştir.

Tablo 2'de Naive Bayes algoritması kullanılarak Türkiye'deki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen derslerin belirlenen sınıflara göre dağılımları görülmektedir.

Tablo 2. Naive Bayes Algoritmasına Göre Türkiye'deki Derslerin Dağılımı

Ders Sınıfı	Ders Adedi	Oran (%)
Matematik Dersleri	556	10,05
Donanım Dersleri	600	10,85
Yazılım Dersleri	992	17,94
Yapay Zeka Dersleri	640	11,57
Ağ Güvenlik Dersleri	487	8,81
Bölüm İçi Seçmeli Dersler	134	2,42
Bölüm Dışı Seçmeli Dersler	982	17,76
Temel Dersler	481	8,70
Ek Dersler	655	11,85
TOPLAM	5527	100

Tablo 3'te ise Naive Bayes algoritması kullanılarak Avrupa Birliği'ndeki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen derslerin belirlenen sınıflara göre dağılımları görülmektedir.

Tablo 3. Naive Bayes Algoritmasına Göre Avrupa Birliği'ndeki Derslerin Dağılımı

Ders Sınıfı	Ders Adedi	Oran (%)
Matematik Dersleri	156	13,08
Donanım Dersleri	206	17,28
Yazılım Dersleri	260	21,81
Yapay Zeka Dersleri	75	6,29
Ağ Güvenlik Dersleri	100	8,38
Bölüm İçi Seçmeli Dersler	71	5,95
Bölüm Dışı Seçmeli Dersler	149	12,5
Temel Dersler	115	9,64
Ek Dersler	60	5,03
TOPLAM	1192	100

Naive Bayes algoritması ile yapılan işlemler daha sonra J48 algoritması da kullanılarak yapılmıştır. Tablo 4'te J48 algoritması kullanılarak Türkiye'deki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen derslerin belirlenen sınıflara göre dağılımları görülmektedir.

Tablo 4. J48 Algoritmasına Göre Türkiye'deki Derslerin Dağılımı

Ders Sınıfı	Ders Adedi	Oran (%)
Matematik Dersleri	630	11,39
Donanım Dersleri	642	11,61
Yazılım Dersleri	926	16,75
Yapay Zeka Dersleri	470	8,5
Ağ Güvenlik Dersleri	914	16,53
Bölüm İçi Seçmeli Dersler	621	11,23
Bölüm Dışı Seçmeli Dersler	383	6,92
Temel Dersler	428	7,74
Ek Dersler	513	9,28
TOPLAM	5527	100

Tablo 5'de ise J48 algoritması kullanılarak Avrupa Birliği'ndeki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen derslerin belirlenen sınıflara göre dağılımları görülmektedir.

Tablo 5. J48 Algoritmasına Göre Avrupa Birliği'ndeki Derslerin Dağılımı

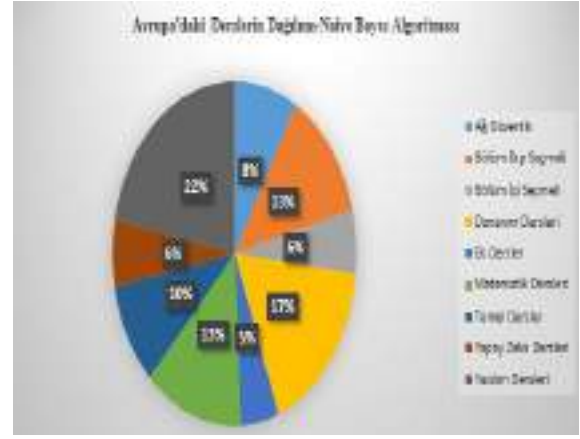
Ders Sınıfı	Ders Adedi	Oran (%)
Matematik Dersleri	156	13,08
Donanım Dersleri	206	17,28
Yazılım Dersleri	260	21,81
Yapay Zeka Dersleri	75	6,29
Ağ Güvenlik Dersleri	100	8,38
Bölüm İçi Seçmeli Dersler	71	5,95
Bölüm Dışı Seçmeli Dersler	149	12,5
Temel Dersler	115	9,64
Ek Dersler	60	5,03
TOPLAM	1192	100

Naive Bayes algoritmasına göre elde edilen sınıflara göre Türkiye'deki üniversitelerin ve Avrupa Birliği'ndeki

üniversitelerin ders kredilerinin ortalaması sırasıyla Tablo 6'da ve Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 6. Naive Bayes Algoritmasına Göre Türkiye'deki Kredi Ortalaması

Ders Sınıfı	Kredi Ortalaması
Matematik Dersleri	3,41
Donanım Dersleri	3,17
Yazılım Dersleri	3,1
Yapay Zeka Dersleri	3,12
Ağ Güvenlik Dersleri	3,12
Bölüm İçi Seçmeli Dersler	2,89
Bölüm Dışı Seçmeli Dersler	2,6
Temel Dersler	3,22
Ek Dersler	2,61



Şekil 8. Naive Bayes Algoritmasına Göre Avrupa Birliği'ndeki Derslerin Dağılımı

Türkiye'deki ve Avrupa Birliği'ndeki üniversitelerin bilgisayar mühendisliği bölümlerinden elde edilen derslerin J48 algoritması kullanılarak ders sınıflarına göre dağılımlarını gösteren dairesel grafikler Şekil 9 ve Şekil 10'da görülmektedir.

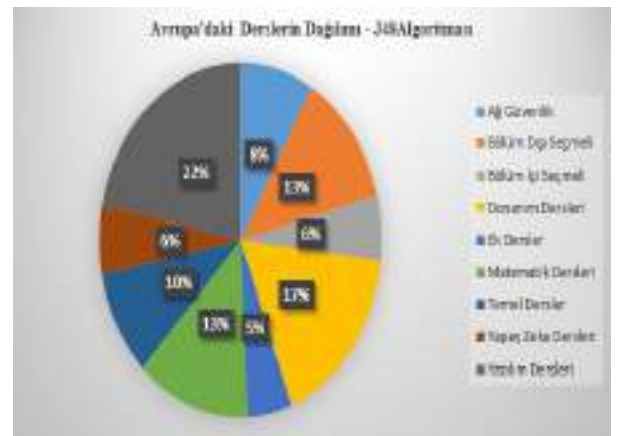
Tablo 7. Naive Bayes Algoritmasına Göre Avrupa Birliği'ndeki Kredi Ortalaması

Ders Sınıfı	Kredi Ortalaması
Matematik Dersleri	5,52
Donanım Dersleri	5,42
Yazılım Dersleri	5,58
Yapay Zeka Dersleri	4,9
Ağ Güvenlik Dersleri	5,34
Bölüm İçi Seçmeli Dersler	4,19
Bölüm Dışı Seçmeli Dersler	4,29
Temel Dersler	5,66
Ek Dersler	3,08



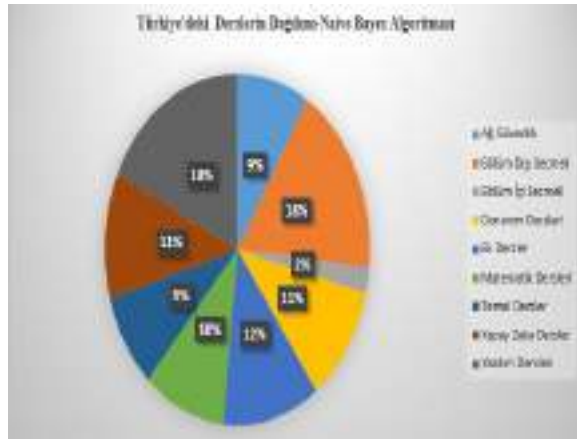
Şekil 9. J48 Algoritmasına Göre Türkiye'deki Derslerin Dağılımı

Türkiye'deki ve Avrupa Birliği'ndeki bilgisayar mühendisliği lisans programlarından elde edilen verilerin Naive bayes algoritması ile belirlenen sınıflara göre dağılımlarını daha net bir şekilde görebilmek için Şekil 7 ve Şekil 8'de görülen grafikler kullanılmıştır.



Şekil 10. J48 Algoritmasına Göre Avrupa Birliği'ndeki Derslerin Dağılımı

Naive Bayes algoritması kullanılarak yapılan sınıflandırmaya göre elde edilen sınıfların kredi ortalamasının daha rahat görülebilmesi için Şekil 11'deki ve Şekil 12'deki grafikler kullanılmıştır.



Şekil 7. Naive Bayes Algoritmasına Göre Türkiye'deki Derslerin Dağılımı

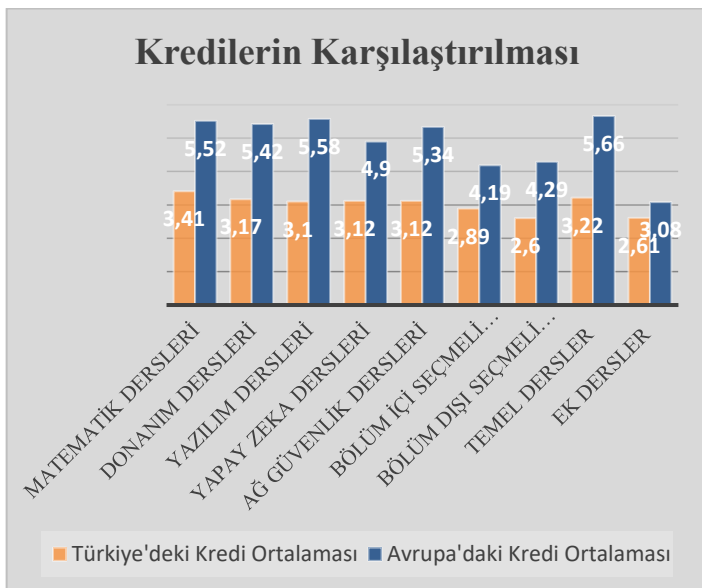


Şekil 11. Naive Bayes Algoritmasına Göre Türkiye'deki Kredi Ortalaması



Şekil 12. Naive Bayes Algoritmasına Göre Avrupa'daki Kredi Ortalaması

Türkiye'deki ve Avrupa'daki ders sınıflarına ait kredi ortalamalarının daha net görülerek karşılaştırabilmek için Şekil 13'teki grafik kullanılmıştır.



Şekil 13. Kredilerin Karşılaştırılması

4. Sonuç

Bu çalışmada, veri madenciliği ile Türkiye'deki üniversitelerde verilen bilgisayar mühendisliği lisans dersleri çeşitliliği ile Avrupa Birliği'ndeki bilgisayar mühendisliği lisans dersleri çeşitliliği kıyaslanmıştır. Bu çalışma Türkiye'deki üniversitelerin ikili programlar yürüttüğü Avrupa Birliği'ndeki üniversiteler ile arasındaki eğitim farklarının belirlenmesi ve eksiklikler için çeşitli çözüm önerileri getirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmanın yapılmasındaki bir diğer amaç ise, Türkiye'deki üniversitelerde okuyan öğrencilerin Erasmus programı ile Avrupa Birliği'ndeki üniversitelerden aldıkları dersleri saydırmak istediklerinde yaşadıkları problemleri azaltabilmek ve ders eşitlemesinin adil bir şekilde yapılabilmesini sağlayabilmektir.

Bu çalışmada daha önce yapılan eğitim alanında yapılan veri madenciliği çalışmaları incelenmiştir. Veri madenciliği çalışmalarında sıklıkla tercih edilen Weka platformu tercih edilmiş ve sınıflandırma algoritmaları olarak Naive Bayes ve J48 algoritmaları kullanılmıştır. Elimizdeki verilerle daha iyi sonuç elde edebileceğimiz iki algoritma seçilmiştir ve elde edilen sonuçların her iki algoritma sonuçları dikkate alınarak kıyaslanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Mühendislik eğitiminde ve iş hayatında önemli bir yeri olan Matematik Dersleri sınıfının çeşitliliği Naive Bayes ve J48 algoritmanın sonucuna göre de Avrupa Birliği'ndeki ülkelere göre daha düşüktür.
- Yazılım Dersleri, Donanım Dersleri ve Temel Dersler sınıflarındaki ders çeşitliliği her iki algoritmanın sonucuna göre de Avrupa Birliği'ndeki ülkelere göre daha düşüktür.
- Ek Dersler sınıfına ait derslerin çeşitliliği her iki algoritmaya göre de Türkiye'de Avrupa Birliği'ndeki ülkelere göre daha yüksektir.
- Öğrencilerin kendi ilgi alanına göre derslere yönelmesini sağlayan Bölüm İçi Seçmeli Derslerin çeşitliliği Naive Bayes algoritmasına göre Avrupa Birliği'nde Türkiye'deki oranın 3 katı kadardır. Ancak J48 algoritmasına göre ise Türkiye'deki Bölüm İçi Ders çeşitliliğinin Avrupa Birliği'ndeki ders çeşitliliğinden daha fazla olduğu görülmüştür.
- Bölüm Dışı Seçmeli Derslerin çeşitliliği Naive Bayes algoritmasına göre ülkemizde daha yüksektir ancak J48 algoritmasına göre ise Bölüm Dışı Seçmeli Derslerin çeşitliliği Avrupa Birliği'nde daha yüksektir.
- Yapay Zeka Dersleri çeşitliliği ve Ağ Güvenliği Dersleri çeşitliliği her iki algoritmaya göre de ülkemizde Avrupa Birliği'ne göre daha yüksektir.

Öğrencilerin dersin önemini kıyasladıkları ve derslere verecekleri önemi belirlemelerinde etkili olduğunu düşünülen kredi oranlarının belirlenen ders sınıflarına göre dağılımları incelendiğinde ise Türkiye'deki ve Avrupa Birliği'ndeki bilgisayar mühendisliği lisans derslerine ait olan ders sınıflarının kredi ortalamaları ve AKTS ortalamaları kıyaslandığında bütün ders sınıflarında kredi ortalamalarının büyük bir oranda düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca Türkiye'deki ders sınıflarının kredi ortalamalarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum öğrenci gözünden incelendiğinde derslerin aynı seviyede görülmesi ve birbirinin yerine konulabilecek şekilde

algılanabilmesine sebep olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca derslerin kredi oranlarının bu şekilde düşük olması öğrencinin derse yeterli özeni göstermesinde engel olacağı düşünülmektedir.

Bu makalede günümüzün oldukça önemli bir sorunu olan eğitim konusu ele alınmıştır. İlerideki çalışmalarda farklı bölümler için veri setleri ve farklı sınıflandırma algoritmaları kullanılarak pek çok faydalı çalışma yapılması hedeflenmektedir.

Kaynakça

- Akçapınar, G. (2014). Çevrimiçi Öğrenme Ortamındaki Etkileşim Verilerine Göre Öğrencilerin Akademik Performanslarının Veri Madenciliği Yaklaşımı İle Modellenmesi, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Akgöbek, Ö., Çakır, F., (2009). Veri Madenciliğinde Bir Uzman Sistem Tasarımı, Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Alan, M. A. (2012). Veri Madenciliği Ve Lisansüstü Öğrenci Verileri Üzerine Bir Uygulama. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (33), 165-174.
- Alan, M.A. (2014). Karar Ağaçlarıyla Öğrenci Verilerinin Sınıflandırılması. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 28(4), 101-112 .
- Altınkardeş, A., Erdal, H., Fevzi BABA, F. ve Fak, S.,A. (2012). ABPM Ölçümü olmaksızın karar ağaçları algoritması ile Non- Dipper/Dipper Öngörüsü, 6.Ulusal Tıp Bilişimi Kongresi, Antalya.
- Aydın, S. (2007). Veri Madenciliği Ve Anadolu Üniversitesi Uzaktan Eğitim Sisteminde Bir Uygulama, Anadolu Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Ayık, Y. Z., Özdemir, A. ve Yavuz, U. (2007). Lise Türü Ve Lise Mezuniyet Başarısının, Kazanılan Fakülte İle İlişkisinin Veri Madenciliği Tekniği İle Analizi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10(2), 441-454.
- Baykal, A. (2006). Veri Madenciliği Uygulama Alanları. Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 7, 95-107.
- Bırtıl, F. S. (2011). Kız Meslek Lisesi Öğrencilerinin Akademik Başarısızlık Nedenlerinin Veri Madenciliği Tekniği İle Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bilen, Ö., Hotaman, D., Aşkın, Ö. E. ve Büyüklü, A.H. (2014). LYS Başarılarına Göre Okul Performanslarının Eğitsel Veri Madenciliği Teknikleriyle İncelenmesi: 2011 İstanbul Örneği. Eğitim ve Bilim, 39(172), 78-94.
- Çırak, G. ve Çokluk, Ö. (2013). Yükseköğretimde Öğrenci Başarılarının Sınıflandırılmasında Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon Yöntemlerinin Kullanılması. Mediterranean Journal of Humanities, 3(2), 71-79.
- Çoban Budak, E. (2013). Üniversite Öğrencileri İçin Bilgisayar Okuryazarlığını Etkileyen Faktörlerin Etkisinin Veri Madenciliği İle Analizi. AJIT-e-Online Academic Journal Of Information Technology, 4(11), 1-14.
- Çöllüoğlu Gülen, Ö. (2014). Veri Madenciliği Teknikleri İle Üstün Yetenekli Öğrencilerin İlgi Alanlarının Analizi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Dener, M., Dörterler, M., Orman, A., (2009,Şubat). Açık Kaynak Kodlu Veri Madenciliği Programları: Weka'da Örnek Uygulama", Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Ekim, U. (2011). Veri Madenciliği Algoritmalarını Kullanarak Öğrenci Verilerinden Birliktelik Kurallarının Çıkarılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Farhad Alam, F. ve Pachauri, S. (2017). Comparative Study of J48, Naive Bayes and One-R Classification Technique for Credit Card Fraud Detection using WEKA. Advances in Computational Sciences and Technology, 10(6), 1731-1743.
- Göker, H. (2012). Üniversite Giriş Sınavında Öğrencilerin Başarılarının Veri Madenciliği Yöntemleri İle Tahmin Edilmesi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Hark, C. (2013). Öğrencilerin Akıllı Tahtaya İlişkin Tutumlarının İncelenmesine Yönelik Bir Veri Madenciliği Uygulaması. Fırat Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Hatipoğlu, B., Aslan, Z., Zontul, M. ve Güneş, A. (2011). Dershane Eğitiminin, Öğrencinin Üniversiteye Yerleşmesindeki Etkisi. İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 3(12), 13-50.
- Kılıçer, S., ve Şamlı, R. (2018). Veri Madenciliği ile Türkiye'deki ve Avrupa Birliği Ülkelerindeki Bilgisayar Mühendisliği Bölümleri Ders İçeriklerinin Karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kilicer, S. Ve Şamlı, R (2018). Comparison of Turkey ad European Union Computer Engineering Programs", ICATCES – International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science, Karabük/TÜRKİYE
- Kilicer, S. Ve Şamlı, R (2019). Veri Madenciliği İle Türkiye'deki Elektrik Elektronik Mühendisliği Programlarının Karşılaştırılması", HEZARFEN – International Congress of Science, Mathematics and Engineering Sciences, İzmir/TÜRKİYE
- Kilicer, S. Ve Şamlı, R (2020). Türkiye ve Çin Bilgisayar Mühendisliği Programlarının Karşılaştırılması", EFIS – Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, Zonguldak/Türkiye
- Kurt, Ç. ve Erdem, O. A. (2012). Öğrenci Başarısını Etkileyen Faktörlerin Veri Madenciliği Yöntemleriyle İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 15(2), 111-116.
- Nizam, H., Akın, S.,S.,(2014). Sosyal Medyada Makine Öğrenmesi ile Duygu Analizinde Dengeli ve Dengesiz Veri Setlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, XIX Türkiye'de İnternet Konferansı, Yaşar Üniversitesi, İzmir.
- Özçınar, H. (2006). KPSS sonuçlarının veri madenciliği yöntemleriyle tahmin edilmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Patil, T. Shrekar, S. (2013). Performance Analysis of Naive Bayes and J48 Classification Algorithm for Data Classification. International Journal Of Computer Science And Applications, 6(2), 256-261.

- Savas, S., Topaloglu, N., Yılmaz, M. (2012). Veri Madenciliği ve Türkiye’deki Uygulama Örnekleri. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(21), 1-23.
- Stolz, H., Lehmann, P., ve Poonnawa, W., (2007). Data Mining with Microsoft SQL Server 2005, International DSI / Asia and Pacific DSI 2007.
- Şengür, D. (2013). Öğrencilerin Akademik Başarılarının Veri Madenciliği Metotları İle Tahmini, Fırat Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Taşdelen, A. (2014). Veri Madenciliği Yöntemleri İle Mühendislik Fakültesi Uzaktan Eğitim Bölümlerinin Analizi: Karabük Üniversitesi Örneği, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Yelegin, A. (2012). Mesleki Eğitimde Öğrenci Altyapısının Öğrenci Eğitim Başarısına Etkisinin Veri Madenciliği Yöntemleriyle Ortaya Çıkartılması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, İstanbul.–



Havacılık ve Meteoroloji

Fahrettin Öztürk^{1*}, Hüseyin Fazla², Rukiye Aybüke Akbay³, Temel Kotil⁴

^{1*} Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9517-7957), fahrettin71@gmail.com

² Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5935-1978), huseyin.fazla@tai.com.tr

³ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9370-2084), rukiyeaybuke.aydemir@tai.com.tr

⁴ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9575-6155), temel.kotil@tai.com.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 4 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.862929)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, F, Fazla, H., Akbay, R. A. & Kotil, T. (2021). Havacılık ve Meteoroloji. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 131-138.

Öz

Meteoroloji hayatımızın her alanında yer almakta ve birçok sektörde belirleyici rol oynamaktadır. Bu sektörlerin en önemlilerinden birisi olan havacılıkta atmosferik şartları gerçek zamanlı gösteren meteoroloji bilgisi çok büyük öneme sahiptir. Hem hava trafiği hem hava araçlarının üretimine yönelik yatırımlar anlamında meteoroloji daima ön planda tutulmaktadır. Bu çalışma kapsamında havacılığımız açısından havacılık meteorolojisi detaylıca incelenmiştir. Meteoroloji politikaları nasıl olmalıdır? Nasıl stratejiler geliştirilmelidir? Havacılık ve meteoroloji ilişkileri nasıl düzenlenmelidir? soruları tartışılmıştır. Güçlü bir havacılık için güçlü bir teknolojisi olan meteoroloji sistemlerine sahip olunmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Havacılık yatırımları yapılırken meteorolojik bilgilerin dikkate alınması çok büyük öneme sahiptir. Havacılık Endüstrisi ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü ortak çalışmalar yaparak ortak politikalar ve stratejiler belirlemelidir.

Anahtar Kelimeler: Havacılık; Havacılık Politikaları; Meteoroloji; Meteoroloji Stratejileri.

Aviation and Meteorology

Abstract

Meteorology takes place in all areas of our lives and plays a decisive role in many sectors. Aviation is one of the most important of these sectors requires meteorological information shows atmospheric conditions in real time is great importance. Meteorology is always prioritized in terms of both air traffic and investments for the production of aircraft. Within the scope of this study, aviation meteorology has been examined in detail in terms of our aviation. How should meteorology policies be? What strategies should be developed? How should aviation and meteorology relations be regulated? questions are discussed. The necessity of having meteorology systems, which is a powerful technology for a strong aviation, is emphasized. It is of foremost importance to consider meteorological information when making aviation investments. Aviation Industry and the General Directorate of Meteorology should work together to determine common policies and strategies.

Keywords: Aviation; Aviation Policies; Meteorology; Meteorology Strategies.

* Sorumlu Yazar: fahrettin71@gmail.com

1. Giriş

Ülkemizin havacılık tarihinin köklü bir geçmişi vardır. İlk faaliyetler II. Abdülhamid dönemine dayanmakta olup, bu dönemde Fransa'ya balon siparişi verilmiştir (Derişoğlu, 2014). Osmanlı'nın son dönemlerinde de farklı ölkelerden 20 civarı değişik tip uçak temin edilmiş ve Hava Kuvvetleri güçlendirilmiştir (teyyareci.com, 2020). Osmanlı dönemindeki havacılık faaliyetleri, ordu bünyesinde "Umur-u Havaiye Müfettişliği", Millî Mücadele sırasında "Kuva-i Havaiye Şubesi", Cumhuriyet kurulduğunda ise "Hava Müfettişliği" ismiyle anılmıştır. 1928 yılında "Hava Müsteşarlığı" kurulmuş, havacılığın önemine binaen 1944 yılında "Hava Kuvvetleri Komutanlığı" teşkil edilmiştir (Derişoğlu, 2014). Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren havacılık alanında önemli yatırımlar yapılmış fabrikalar kurulmuş, yurt dışına uçak mühendisliği alanında yetiştirilmek üzere öğrenciler gönderilmiştir. Ulu Önder Atatürk aslında 1925 yılında "İstikbal Göklerdedir" sözüyle stratejimizi belirlemiştir. Hava gücü ve savunması en güçlü olan devletler son yüzyıldaki birçok savaşta gelişmiş hava araçlarına ve silah sistemlerine sahip olan tarafın hava üstünlüğünü kazandığını, havacılığa yatırım yapmayan tarafın "savaşı kazanamayacağını" defalarca ortaya koymuşlardır. Havacılık faaliyetleri Cumhuriyetimizin ilk yıllarında başlamış kesintili de olsa havacılık alanında başarılı hamleler 1950'li yıllara kadar arđı ardına gelmiştir. Sonrasında çeşitli nedenlerle havacılık sanayimizin gelişimi sekteye uğramış, hedeflenen seviyeye bir türlü ulaşamamıştır. Havacılık alanında yapılan çalışmalar O. Yalçın tarafından yapılan yayında (Yalçın, 2010) detaylı olarak özetlenmiştir.

Bütün bunlara rağmen havacılık bütün Cumhuriyet tarihimiz boyunca her zaman gündemde olmuştur. Günümüzde ölkemizdeki en önemli havacılık sanayii alanındaki faaliyetler Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) bünyesinde yürütölmektedir. Şirket; 28 Haziran 1973'te TUSAŞ çatısı altında, Türkiye'nin savunma sanayiinde dışa bağımlılığını azaltmak amacıyla, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı bünyesinde kurulmuştur. Türk Hava Kuvvetleri'nin savaş uçağı ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak F-16 uçaklarının kullanılması kararı ile birlikte; F-16 uçağının üretimi, uçak üzerindeki sistemlerin entegrasyonu, uçuş testlerinin yapılması ve sonrasında Hava Kuvvetlerimize teslim etmek maksadıyla, 1984 yılında Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TAI), şimdiki adıyla TUSAŞ, Türk-ABD ortak yatırım şirketi olarak 25 yıllığına kurulmuştur. F-16 üretim süreci tamamlandıktan sonra, başka hava araçlarını da üretebilmesi kapsamında, 2005 yılında TAI'nin yabancı hisseleri Türk hissedarlar tarafından satın alınarak TAI yeniden yapılandırılmıştır. Bu kapsamda TAI ve TUSAŞ birleşerek, TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. çatısı altında faaliyetlerini genişletmiş, havacılık ve uzay sanayi sistemlerinin geliştirilmesi, modernizasyonu, üretimi, sistem entegrasyonu ve yaşam döngüsü destek süreçlerinde Türkiye'nin teknoloji merkezi konumuna gelmiştir (tusas.com, 2020). Havacılık ve uzay sanayisinde küresel ilk 100 oyuncu arasında yer alan TUSAŞ, proje konularına bağlı olarak; Yapısal Grubu, Uçak Grubu, Helikopter Grubu, İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri Grubu, Uzay Sistemleri Grubu ve Millî Muharip Uçak (MMU) Grubu'nu bünyesinde barındırmaktadır. TUSAŞ'ın yanı sıra TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. (TEI), BAYKAR, Alp Havacılık, Vestel ve benzeri birçok havacılık firması da ölkemizde havacılık alanında başarılı bir şekilde üretim faaliyetlerini sürdürmektedir.

Son yıllarda ölkemizdeki başarılı havacılık faaliyetlerinin yanı sıra hava trafiğinde de ciddi artışlar görölmektedir. Birçok ilimizde yeni havaalanları açılmakta, hava trafiği çok hızlı şekilde artmaktadır. Havacılık hizmetleri açısından meteoroloji çok büyük öneme sahiptir. Meteorolojik hizmetler hem uçuş emniyeti hem konfor hem de yakıt sarfiyatı açısından havacılık sektörünün ayrılmaz bir parçasıdır. Bilindiği üzere uçuş söz konusu olduğunda uçuş faaliyetlerini, meteorolojik hizmetlerle birlikte değerlendirmek gerekir. Meteoroloji, dünyamızı çevreleyen atmosferi ve atmosferde meydana gelen değişiklikleri inceleyen bir bilim dalıdır. Meteorolojik bilgi ve verilerden yararlanarak uçuşların planlanması da emniyetli, konforlu ve rahat bir yolculuk için gerekli ön şarttır. Aynı şekilde iniş ve kalkışlardaki meteorolojik bilgiler pilotlar için önemlidir. Özellikle meydanlardaki görüş mesafesi, pist görüş mesafesi, bulut alt taban yüksekliği, yağışın şekli ve şiddeti, altimetrik basınç değeri, rüzgâr hızı ve yönü, türbülans ve rüzgar kayması (windshear) gibi meteorolojik bilgiler uçakların emniyetli iniş ve kalkış yapmalarında en önemli etkenlerdendir (Jeppesen, 2004). Uçuş faaliyetleri bakımından önem arz eden bu meteorolojik parametrelerin gözlemlenmesi amacıyla Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatının kriterlerine göre, her havaalanında ulusal veya uluslararası meteorolojik bilgi taleplerini karşılayabilecek en az bir meteoroloji ofisinin bulunması zorunludur. Havacılık işletmeciliği bakımından meteoroloji hizmetine duyulan ihtiyaç üç grup altında değerlendirilebilir. Uçuş Planlama Safhası: Alınacak yakıt yük miktarının belirlenmesi ve alternatif havaalanlarının belirlenmesi. Uçuş Safhası: Yol boyunca karşılaşılmaması muhtemel hava olaylarının (türbülans, buzlanma, oraj vs.) önceden belirlenerek tedbir alınması. Kalkış ve İniş Safhası: Tehlike oluşturabilecek yan rüzgâr, bulut alt taban yüksekliğinin bilinmesi, düşük görüş mesafesinin bilinerek iniş ve kalkış planlaması. Bu hususlar dikkate alındığında uçuş faaliyetleri meteoroloji ile doğrudan ilgilidir. Bu açıdan bakıldığında havacılık ve meteoroloji birimlerinin birlikte çalışmak zorunda olduğu görülür. Ortak bir sinerjiyle birlikte çalışmak, projeler gerçekleştirmek ve yenilikleri uygulamak ölkemiz için çok büyük öneme sahiptir. Güçlü bir havacılık için çok güçlü bir meteoroloji alt yapısı ve bilgi aktarımı gereklidir. Bu kapsamda havacılıkta meteoroloji, ortak strateji ve politikalar bu çalışmamız dahilinde incelenmektedir.

2. Havacılıkta Meteoroloji

Uçucular için meteoroloji bilimine hâkim olunması bir zorunluluktur, zira atmosfer hava aracının uçtuğu mekân olup, meteorolojik hadiselerin cereyan ettiği bir ortam olan atmosferi bilmeden uçuşların icra edilmesi söz konusu olamaz. Hava aracının izleyeceği rota (yol) boyunca meteorolojik hadiseleri bilmek gerektiği gibi, uçuş esnasında ne tür hava hadiselerinin gelişmekte olduğuna dair tahmin bilgisine ve bu tahmine göre hava aracının emniyetle uçurulabilmesine, gerektiğinde meteorolojik tahminler doğrultusunda uçuş planlamalarının yenilenmesine, hatta uçuşların iptal edilmesine kadar varan bir sürecin pilotlar, uçuş planlamacıları, hava aracı sahipleri ve ilgili uzmanlar tarafından işletilmesi gerekebilir. Bilindiği üzere Atmosferin en alt tabakası troposferdir. Yeryüzünden yaklaşık 36.000 feete (11.000 metre) kadar olan bölgeye troposfer denir. Troposferin üzerinde stratosfer olup, yaklaşık 150.000 feete (50.000 metre) uzanır. Uçuş faaliyetleri çoğunlukla troposfer içinde ve çok az bir kısmı stratosferin alt kısmında gerçekleşmektedir (Jeppesen, 2004). Bu birleşik bölge, *Havacılık*

Atmosferi (aviation atmosphere) olarak isimlendirilir. Meteorolojinin uçuş faaliyetlerini doğrudan etkileyen rüzgâr, türbülans, sıcaklık, sis, yağışlar, don ve buzlanma gibi olayları gözlemleyen ve tahminlerde bulunan dalı *Havacılık Meteorolojisi* olarak isimlendirilir. Uçak Teknisyenleri Derneğinin (UTED) resmi yayını UTED Dergi'sinde

“Havacılık, meteorolojik olaylara son derece duyarlı bir sektördür. Hava koşullarının uçuşlar üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olması, hızla büyüyen sektörde göz ardı edilemeyecek bir unsur olarak “Havacılık Meteorolojisi” kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) esaslarına göre de meteorolojik hizmetlerle ilgili uluslararası kodlama ve standartlar belirlenmiştir. Bu ihtiyaca yönelik olarak radarlar ilk kez 1950’li yıllarda meteoroloji alanında kullanılmaya başlandı. 1970’lerden itibaren de Doppler radar teknolojisi kullanılarak radarlardan dijital formda bilgilere ulaşıldı.” (UTED Dergi, 2020) bilgileri verilerek tanımlama yapılmıştır. Havacılık meteorolojisi sistemin en önemli çarklarından birisidir.

Yüksek irtifalarda jet stream denen kuvvetli rüzgârlar hava araçlarının uçuş rota hesaplamalarında göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Jet rüzgârları yakıt planlaması ile doğrudan ilgilidir. Hava aracı kuvvetli baş rüzgârı (head-wind) alıyorsa varış noktasına sakın bir rüzgâr etkisinde ulaşacağından daha uzun sürede ulaşır. Yakıt planlaması açısından bakıldığı zaman kuvvetli baş rüzgârı ekonomik açıdan negatif etki yapmaktır. Hava aracı kuvvetli kuyruk rüzgârına (tail-wind) maruz kalıyorsa bu durumda rüzgâr hareketi destekleyici bir etmen olacaktır. Böylece, yakıt tüketimi azaltmakta ve zamandan da tasarruf edilmektedir. Jet rüzgârları ile ilgili dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, bu rüzgârları uçuş rotası boyunca yan rüzgâr olarak almaktan kaçınmaktır.

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) deniz seviyesini standart atmosferik seviye olarak kabul eder ve ortalama deniz seviyesindeki hava sıcaklığı 15 °C olarak kabul edilir. Hava sıcaklığının yükseklikle değişimi "lapse rate" olarak tanımlanır. Atmosferin en alt tabakası olan Troposferde lapse rate genellikle -6,5 °C/km'dir. Kısacası yerden yükseldikçe her 1.000 metrede sıcaklık 6,5 °C düşer. Benzer değişim durumu basınç değeri için de geçerlidir. Deniz seviyesinde standart atmosferik basınç 1013,25 hPA olup, 30.000 feette yaklaşık 300 hPA'dır. Kuzey yarımkürede rüzgarlar saat istikametinin aksi yönünde ve aynı zamanda kuzey kutbuna doğru eserken, Güney yarımkürede bunun tersi bir durum seyredir. Atmosferde termik ve dinamik kaynaklı hava hareketlerine bağlı olarak alçak (siklon) ve yüksek basınç (antisiklon) bölgeleri oluşur. Bu farklı basınç bölgeleri (sıcak cephe, soğuk cephe vb.) arasında geçişler meteorolojik hadiselerin hızlı veya yavaş gelişimini tetikler (Jeppesen, 2004). Siklonlarda hava hareketi yükselici yani konveksiyonel bir özellik gösterir. Antisiklonlarda ise hava hareketi alçacı yani sübsidans şeklindedir. Aynı şekilde dağlık arazi üzerindeki rüzgar değişimleri ile deniz üzerindeki rüzgar değişimleri de birbirinden farklıdır.

Sayılamayacak çeşitlilikteki bu tür atmosferik hadiselerdeki değişim havacılık açısından neden önemlidir? Bir örnek vermek gerekirse, uçak motorlarının sıcaklık, basınç gibi değişkenlerden en az etkilenecek şekilde tasarlanması, motorların her irtifada mümkün olduğunca verimliliğini koruyabilmesi, en önemlisi pilotların ve yolcuların emniyetle bir yerden bir yere atmosferde seyahat edebilmesi için atmosferdeki değişimlerden en az etkilenecek ve her hava şartında emniyetle uçağın uçurulmasına imkân verecek şekilde uçakların üretiminin gerçekleştirilmesi bir

zorunluluktur. Burada en önemli husus uçağın uçtuğu coğrafyaya uygun tasarımın yapılmasının önemi aşikardır. Tasarımcı motor seçerken, turbo sistemi seçerken uçağın güvenli uçağı irtifayı göz önünde bulundurmaya zorundadır. Sonuç olarak hava aracı tasarlarken mutlaka meteorolojik veriler göz önünde bulundurulmalıdır.

Ortamdaki havanın sıcaklığı, basınç ve nem koşulları havanın yoğunluğunu belirler. Diğer tüm faktörlerin değişmediği varsayımıyla hareket edildiğinde, bir havaalanının rakımındaki artma, ortalama basıncı azaltır ve bu durum ortalama hava yoğunluğuna etki eder. Bu nedenle yüksek rakımlı havaalanlarında daha uzun kalkış mesafelerine, dolayısıyla deniz seviyesindeki meydanlara göre bu havaalanlarının pistlerinin daha uzun inşa edilmesine ihtiyaç duyulur. Hava yoğunluğundaki azalmanın diğer bir etkisi de motor gücünü düşürmesi ve taşıma ve sürüklenme kuvvetlerini azaltmasıdır (050 Meteoroloji, 2007). Bu nedenle yoğunluk irtifası ile taşıtın performansı "ters orantılıdır". Örneğin bir uçak ortalama deniz seviyesine göre 1000 feet irtifada uçuşuna rağmen, atmosferik koşullardan dolayı o irtifaya karşılık gelen yoğunluk irtifası 2500 feet ise, uçağın performansı 2500 feet seviyesinde uçuşmuş gibi (daha düşük) gerçekleşecektir (Dorothy and Robson, 2010)

Havacılıkta bulutluluk önemli bir faktördür. Sis, pus gibi görüş mesafesini düşüren su buharı yoğunlaşmasıyla oluşan "bulutlanma", hava araçlarının meteorolojik hadiselerden kaynaklı olarak iniş ve kalkış esnasında problem yaşamasına neden olur. Özellikle sisli, puslu havalarda görüş mesafesinin bilinmesi, uçakların emniyetle inişe geçmesi veya kalkış yapması kararlarının alınmasında en önemli faktörlerden birisidir. İnsan gözü özellikle gece şartlarında görüş mesafesini ölçmede yanılmaya, hata yapmaya meyillidir. Bu nedenle görüş mesafesinin teknik bir aletle (transmissometer) ölçülerek, pilotlara iniş veya kalkışta ne kadar bir görüş mesafesinde uçaklarını kullanabilecekleri bilgisi önceden hava rasatlarıyla veya anlık ölçümlerle bildirilmiş olur. Özellikle inişe gelen uçakların kötü hava şartlarında problem yaşamadan inebilmeleri için Aletli İniş Sistemi (Instrument Landing System – ILS) kullanılarak, pilotların meydana yaklaşırken hem belirli bir süzülüş açısıyla emniyetle yaklaşması hem de meydana 50 feet yana ve 27 feet dikeyce görebilecekleri noktaya kadar uçaklarını emniyetle kullanabilmeleri sağlanır. Bunun için meydanlarda ILS olması gerektiği gibi uçakların da ILS ile iletişimini sağlayan, pilotun kokpitteki göstergeler üzerinden uçağını ILS hattına sokmasını sağlayan uçuş aletlerinin uçaklarda bulunması gerekir. ILS alçalma noktalarına pilotun emniyetle gelebilmesi için uygun hassasiyete sahip seyrüsefer kolaylıklarına, uçaktaki INS (Inertial Navigation System), GPS (Global Positioning System) gibi sistemlerin varlığına, trafik bilgisi/yönlendirmesi yapabilecek yeterlilikte yer radarlarına ihtiyaç bulunur.

Meydanlardaki ILS sistemleri yanında modern yolcu jetlerinin tamamında, tehlikeli sayılabilecek şekilde ani bir biçimde yere veya bir arazi engeline yaklaşılması durumunda pilotları uyararak GPWS (Ground Proximity Warning System) adlı sistem bulunmaktadır. İlk olarak 1974 yılında kullanıma sunulan bu sistem sayesinde, özellikle görüşün düşük olduğu alçak irtifa şartlarında, meydana yaklaşma ve iniş safhasında olası pilot hatalarından kaynaklanan kazaların önüne geçilmesi amaçlanmıştır (Gök, 2015).

Meydanlara iniş safhasında özellikle pist görüş mesafesi (Runway Visibility Reading – RVR) değerinin pilotlar tarafından bilinmesi gerekir. Bunun için gündüz "marker board"ları veya gece ise pist ışıklarını, iniş ve kalkış istikametinde görebilmek

için pist eşiğinde 15 feet yükseklikten görülebilen en uzak mesafe, RVR olarak ölçülür. RVR, görüşün 1.500 metrenin altına düştüğünde ölçülür. Trafiğin durumuna göre 15 veya 30 dakikada bir transmissometer aleti kullanılarak ölçümler gerçekleştirilir. RVR değerleri, bulut alt tabanı yüksekliği, meydan teknik alt yapısı (ILS, Category Minimalarını karşılama vb.) ve iniş yapan uçağın teknik özellikleri ve nihayetinde pilotun eğitim seviyesi/meydan kategorisinde iniş yapabilecek ehliyet seviyesinde olduğunu gösteren kontrol belgesinin geçerli (current) olması gerekir (Atlas, 2012).

Bulut çeşitlerini havacılık açısından ele alırsak, satıhtan 6.500 feete kadar görülebilen ince tabaka şeklindeki stratus ve benzeri stratocumulus, nimbostratus bulutları, hem düşük görüşe hem de iniş ve kalkış paternlerinde bu bulutların içinden geçmek zorunda kalacak hava araçlarının içlerinde oluşan türbülans nedeniyle "sallanmasına", buzlanma, yağmur, kar gibi meteorolojik hadiselerin yaşanmasına, teknik olarak uçak sistemlerinin devreye sokulmadığı durumlarda (örneğin buza mani olma sistemlerinin olmaması, devreye sokulmaması vb.) kötü hava şartlarından etkilenebilecek uçak sistemlerinin uçuş esnasında "işlevini kaybetmesine" ve göstergelerin yanlış değer göstermesine ve benzeri problemlere sebebiyet verebilir. 6.500 ile 23.000 feet arasında Altocumulus ve Altostratus bulutları bulunur. Özellikle altocumulus bulutlar içinde meydana gelebilecek şiddetli buzlanma nedeniyle bu bulutların içinden geçecek hava araçlarının teknik olarak tedbirli olmasını veya bu bulutların etrafından dolaşarak rotasına devam etmesini gerektirebilir. 16.500 ile 45.000 feet arasında ise Cirrostratus, Cirrocumulus ve Cirrus bulutları yer alır. Havacılık açısından uçuş rotası boyunca en fazla dikkat edilmesi gereken bulut tipleri dikey bulutlardır. Bunlardan Cumulus bulutlar yerden 25.000 feete kadar, Cumulonimbus bulutlar yerden yaklaşık 33.000 feete kadar (tropopoz) ve Nimbostratus bulutları ise yerden 15.000 feete kadar uzanırlar (Jeppesen, 2004). Özellikle Cumulonimbus (uçucular ve meteoroloji uzmanları tarafından CB kısaltmasıyla ve çoğunlukla Oraj isimlendirmesiyle bilinir) tipi bulutlar, içinde şiddetli yağmur, kar fırtınası ve dolu gibi şiddetli yağışın görülmesi nedeniyle önemlidir. Bu bulut tipleri uçaklar için büyük tehlike arz eder. Çoğunlukla bu bulutların içinden geçerken, uçaklar şiddetli buzlanmayla karşı karşıya kaldığı gibi şiddetli türbülans nedeniyle emniyetli uçuş şartlarının devam ettirilmesi, özellikle teknik imkânları zayıf ya da olmayan küçük uçaklarla yapılan uçuşlarda mümkün olamayabilir. Bu nedenle, büyük yolcu uçakları pilotları dâhil tüm uçucular; rota boyunca CB olduğuna dair meteorolojik uyarı varsa (yol kontrol, yer veya uçağın kendi meteoroloji radarı veya havadaki başka bir uçak tarafından rapor edilmiş ise), mümkün olduğunca bu dikey bulutun etrafından, yaklaşık 20 millik bir mesafe (uçakla bulut arasında bırakılan mesafe) bırakarak rota değişikliği yaparlar ve bu şekilde uçuşa devam etmeyi tercih ederler. Thunderstorm da denen CB bulutlarının geçişleri esnasında, bu bulutlara 40 mil mesafeye kadar olan bölgelerde şiddetli rüzgar hadiseleriyle karşılaşmak söz konusudur. Hamleli rüzgara neden olan bu bulutlar, meydana inişe gelen uçakların iniş istikametine göre yandan bu rüzgara maruz kalması halinde pilotların uçaklarını indirmekte zorluk yaşamasına, bazı durumlarda uçağın emniyetli bir iniş yapamamasına ve pas geçilmesine neden olabilir. Özellikle küçük uçakların inişi neredeyse imkansız hale geleceğinden, rüzgarın sakın olduğu başka bir meydana gidilmesi (divert) gerekebilir. Zorunlu nedenlerle CB altından geçen uçaklar ise "microburst" denilen CB'nin merkezinden yere doğru esen şiddetli rüzgara maruz kalmalarına, uçuş irtifalarını tutmakta zorlanmalarına neden olabilir.

Buzlanma konusuna değinecek olursak, uçuşta buzlanma meydana geldiğinde hava aracının aerodinamik yapısında ciddi "geçici" değişiklikler oluşmaktadır. Kanat yapısında şekilsel bozulmaya neden olan buzlanma, uçağın dış geometrisinin bozulmasını da beraberinde getirir. Genel kabul olarak buzlanma olduğunda, uçağın kaldırması (Lift) %30 azalırken, sürtünme (drag) %40'a varan oranda artar ve uçağın buzlanmadan kaynaklı ağırlığı da artar (Jeppesen, 2004). Uçağın ağırlığının artması daha yüksek süratlerde uçağın stall olma eğilimini artırır, bu da uçuş emniyeti açısından istenmeyen bir durumdur. Aynı zamanda, buzlanmanın devam etmesi demek, artan sürtünme ve ağırlık nedeniyle uçağın yakıt sarfiyatının artması, bazı durumlarda planlanan varış meydanına erişmeden yakıtın bitmesine, bu nedenle rotadaki yakın bir meydana inilmesine neden olabilir. Havacılık endüstrisi kanat uçlarına, kanat ön kısımlarına (leading edge), motor hava alıklarına vb. uç noktalara "buza mani olucu" elektrikli bir nevi rezistanslar ile oluşan buzu önleyecek tedbirleri geliştirmiş, ısıtma yanında aynı uç yüzeylere çeşitli buz çözücü sıvı püskürtmek suretiyle buzun oluşmasını, oluşan buzun çözülmesini sağlayabilmektedir. Kalkış anında buzlanma şartları mevcutsa, meteoroloji raporlarında böyle bir ikaz varsa, de-icing ekipleri uçakların kalkış öncesinde kanatlarına uygun sıvı karışımlarını püskürterek, kalkışta uçakların sorun yaşamadan kalkması için gerekli teknik desteği verebilmektedir. Havada uçağın sürat, altimetre, dikey sürat göstergesi gibi aletlerinin çalışmasını sağlayan pitot tüpü ve statik girişlerin buzlanmaya karşı korunması için günümüzde hemen hemen tüm modern uçaklarda bulunan probe de-ice (oluşan buzlanmayı çözme), anti-ice (buzlanmanın oluşmasını önleme) düğmelerine pilot tarafından basılarak sistemler aktif hale getirilir. Unutmalara karşı, pilotu buzlanma olduğunda ikaz eden aktif bir sesli/işikli ikaz sistemi de uçaklarda mevcuttur.

Uçuculuğa etki eden diğer önemli bir meteorolojik olayda rüzgar kayması (Rüzgar Sheari)' dir. Rüzgar Sheari, atmosferde belirli iki nokta arasında rüzgarın hızında veya yönünde ya da her ikisinde meydana gelen yatay yada dikey ani değişiklikler olarak tanımlanabilir (ICAO, 2005). Bu meteorolojik olay; havaalanlarında uçuculuk için risk oluşturmaktadır. Özellikle Alçak seviyede meydana gelen Shear (Alçak Seviye Rüzgar Sheari) inişte, kalkışta ve pist boyunca uçaklar için tehlike arz edebilir. Bu noktalarda meydana gelen shear; inişte, enerji kazanımı veya kaybına, ani irtifa değişikliklerine, pisti kaçırmaya neden olurken, kalkışta ise, yine çok ani irtifa değişikliklerine enerji kaybına ve kalkış zorluklarına neden olabilmektedir (<https://hezarfen.mgm.gov.tr/Aylik/gecmis/llwas/llwas.aspx>) Dolayısı ile Rüzgar Sheari etkilerinin ve zararlarının azaltılması için havaalanlarına çeşitli sistemlerinin kurulup işletilmesi gerekmektedir. Bu sistemlerinin en başında da Alçak Seviye Rüzgar Sheari Uyarı Sistemi (LLWAS) gelmektedir. Dünyada sadece 6-7 havalimanında bulunan Alçak Seviye Rüzgar Kırılımı Uyarı Sistemi Türkiye'de ilk olarak Antalya Havalimanı'nda kurularak 2019 yılı Şubat ayında havacılık sektörünün hizmetine sunulmuştur.



Şekil 1. Antalya Havalimanında İşletime Açılan Alçak Seviye Rüzgar Kesme Uyarı Sistemi (LLWAS)

Havacılık meteorolojisinin temel amacı ülkemizde ekonomik, askeri ve turistik alanlarda ihtiyaç duyulan hava seyrüseferinin emniyetli bir şekilde sağlanmasıdır. Havacılık meteorolojisi her türlü hava taşımacılığında ihtiyaç duyulan yaygın, güvenli, süratli ve standartlara uygun meteorolojik bilgilerle, bunların temin edilmesi için işletme ve planlama hizmetlerini kapsayan bir bilim dalıdır. Emniyetli bir hava seyrüseferi gerçekleştirmek için mevcut meteorolojik koşulların iyi analiz edilmesi ve gelecek hava koşullarının da en doğru

şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Dünya'nın her yerinde olduğu gibi ülkemizde de Meteoroloji Genel Müdürlüğü havacılık sektörüne doğru ve güvenilir bilgi sağlamak amacıyla çeşitli hizmetler sunmaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü havacılık faaliyetlerine destek vermek amacıyla havacılık faaliyeti gerçekleştiren tüm meydanlara meteoroloji ofisleri kurmuştur. Uçuş faaliyetleri bakımından önem arz eden meteorolojik parametrelerin gözlemlenmesi amacıyla Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatının kriterlerine göre, her havaalanında ulusal veya uluslararası meteorolojik bilgi taleplerini karşılayabilecek en az bir meteoroloji ofisinin bulunması zorunludur. Meydanlardaki meteoroloji ofisleri belirli zaman aralıkları ile mevcut hava koşullarının rasatlarını yayınlarken aynı zamanda gelecek hava koşullarının da tahminlerini yayınlamaktadır. Meteoroloji ofislerinin dışında Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinde (<https://hezarfen.mgm.gov.tr/>) uçuş planlama aşamasında kullanılacak radar görüntüsü, uydu görüntüsü, sinoptik haritalar, meteogram ve airgram çıktıları, yıldırım tespit ve takip sistemi, yukarı seviye hava kartları gibi pek çok bilgi kaynağı bulunmaktadır. Tablo 1.'de Meteorolojik Kaynakların hangi parametre ile ilgili olduğu ve hangi amaçlarla kullanıldığı gösterilmiştir. Mevcut kaynaklar konusunda dikkat edilmesi gereken en önemli husus ise model çıktıları ile elde edilen meteogram, airgram ve yukarı seviye kartlarının bir meteoroloji uzmanı tarafından analiz edilerek mevcut topoğrafik koşullarda güvenilirliğinin değerlendirilmesidir.

Tablo 1. Meteorolojik Kaynaklar ve Kullanım Amaçları

Meteorolojik Kaynak	Meteorolojik Parametre	Kullanım Amacı
Radar Görüntüsü	Yağış	Kısa vadeli hava tahmininde yağışın miktarı, türü ve meydan üzerine geliş zamanını tahmin etmek amacıyla kullanılır.
Uydu Görüntüsü	Bulutluluk	Kısa vadeli hava tahmininde bulutların tepe yüksekliğini, kapalılığını ve meydan üzerine geliş zamanını tahmin etmek amacıyla kullanılır.
Yukarı Seviye Kartı	Buzlanma	Buzlanma seviyesi ve şiddetini tahmin etmek amacıyla kullanılır.
	Türbülans	Türbülans seviyesi ve şiddetini tahmin etmek amacıyla kullanılır.
	Bulut Türü	Kümülonimbus ve tepe yapmış kümülüs bulutlarını tahmin etmek amacıyla kullanılır.
Sinoptik Haritalar	Sıcaklık	Sinoptik rasatlar sonucu elde edilen verilerin her bir sinoptik istasyon için haritalara işlenmesi sonucu hava kütlesi hareketine göre gelecek hava durumu ve cephesel geçişleri tahmin etmek amacıyla kullanılır.
	Bulutluluk	
	Rüzgar	
	Nem	
Meteogram ve Airgram	Nem	Ait olduğu meydan ve çevresi için basınç, nem, yağış miktarı ve türü, bulut kapalılığı ve bulut taban yükseklikleri, rüzgar yön ve şiddeti, rüzgar hamlesi, sıcaklık ve çığ noktası sıcaklığını tahmin etmek amacıyla kullanılır. Bu verilerin elde edilmesi sonucunda görüş düşürücü hadise olan sis ve pus hadiselerinin tahmini için gerekli bilgiyi sağlar.
	Basınç	
	Yağış	
	Bulutluluk	
	Rüzgar	
	Sıcaklık	

Uçuş planlamaları öncesinde, uçuş yolu için sayısal tahmin bilgilerine, kalkış-iniş meydanları ile yol boyu gerektiğinde inilebilecek yedek meydanların hava durumlarına, önemli hava olaylarını rapor eden SWC girdilerine ihtiyaç bulunur. Uçağın kalkış ağırlığını tespit etmek için kalkış meydanı tahminlerine, özellikle rüzgar yönü ve şiddetine, sıcaklık değerine, basınç bilgilerinin pilotlara ve planlamacılara aktarılması gerekir. Yol

boyunca hava yoğunluğundaki değişimler, şiddetli türbülans noktaları, buzlanma seviyeleri ve bölgeleri, oraj oluşumları ve diğer önemli olaylar kapsamındaki çeşitli meteorolojik bilgiler, pilotlara en güncel haliyle ulaştırılmalıdır. İniş meydanının ve yakınındaki yedek meydanların son hava tahminleri ve varsa gelişen tehlikeli bir hava hadisesi pilota yaklaşma radarları tarafından aktarılarak, pilotun en emniyetli şekilde planladığı

meydana inmesi ve/veya yedek meydana yönelmesi (divert) beklenir.

Meteoroloji istasyonlarının bu kapsamda gözlemlerini (METAR) ve tahminlerini (TAF – Terminal Aerodrome Forecast) (istidlâl) pilotlara ve uçuş planlamacılarına belirli periyotlarla

iletmesi bir zorunluluktur. TAF, uçuş rotasında, bir bölgede veya bir meydana beklenen meteorolojik hadiselerin belirli bir formatta, ön tahmin bilgilerini içeren periyodik meteoroloji raporudur. Havacılık amaçlı tahmin çeşitleri Tablo 2.'de özetle sunulmuştur.

Tablo 2. Havacılık Amaçlı Tahmin Çeşitleri (050 Meteoroloji, 2007)

Tahmin Tipi	Kapsadığı Saha	Uçuş Planlama Safhası
1) Meydan Tahmini (TAF)	Havaalanı	Uçuş öncesi ve uçuşta
2) İniş ve Kalkış Tahmini	Havaalanı (Özellikle yaklaşma ve touchdown zonu)	Uçuş öncesi ve uçuşta
3) Uçuş yolu Tahminleri	Yol Boyu	Uçuş öncesi ve uçuşta
4) SIGMET Bilgileri	FIR Sahası	Uçuş öncesi ve uçuşta
5) AIRMET Bilgileri	FIR Sahası	Uçuş öncesi ve uçuşta
6) Meydan İhbarları	Havaalanı Yer Şartları	Park eden uçaklar, Havaalanı inşaatları
7) Wind Shear İhbarları	Havaalanı ve yaklaşma/kalkış path'i ile pist arasındaki 500 m'lik seviye, ihtiyaç halinde daha yüksek seviyeler	Uçuş esnasında, öncesinde ve kalkışta

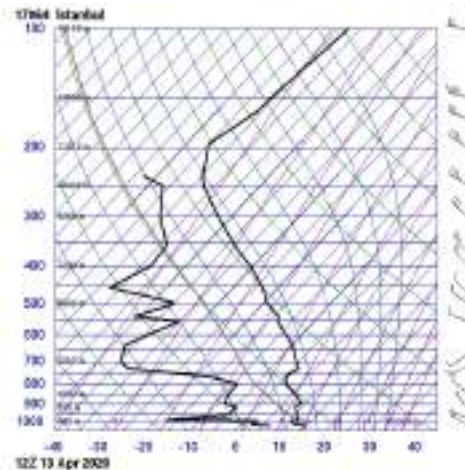
Havacılık tahminleri belirli periyotlarda yapılmaktadır. Tablo 3.'de tahmin tipleri ve periyotları özetlenmiştir.

Tablo 3. Tahmin Periyotları (050 Meteoroloji, 2007)

Tahmin Tipi	Periyodu
Havaalanı Tahmini (TAF)	9, 12, 18 veya 24 saat
İniş Tahmini	2 saat
Kalkış Tahmini	Özel Periyod (Genellikle Kısa)
Uçuş Yolu Tahminleri	Kart formları halinde, belirli zaman aralıklarından, genellikle 0600, 1200, 1800 veya 2400 UTC saatleri
SIGMET Bilgileri	6 saatten fazla değil ve tercihen 4 saatten fazla olmaması
AIRMET Bilgileri	6 saatten fazla değil ve tercihen 4 saatten fazla olmaması
Meydan İhbarları	Genellikle 24 saatten fazla değil
Wind Shear İhbarları	Beklenen Wind Shear periyodu kadar

Havacılık sektörünün gelişmesi ve hava araçlarındaki çeşitliliğin artması ile meteorolojiye duyulan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Her hava aracının meteorolojik koşullara karşı olan dayanma sınırları farklılık göstermekte ve uçuş planlaması sırasında bu değerler bilinerek en uygun uçuş rotasının oluşturulması gerekmektedir. Hava araçlarının farklı dayanma sınır değerlerinin olması sebebiyle meteorolojik analiz ve öngörülerin de daha hassas ve daha dar değer aralıklarında yapılması gerekmektedir. Örneğin; yukarı seviye hava kartları yolcu uçakları referans alınarak modellendiği için 10.000 feet seviyesini taban kabul etmekte ve bu seviyenin altında buzlanma ve türbülans bilgisi vermemektedir.

Günümüz havacılık sektöründe oldukça önemli bir yere sahip olan insansız hava araçlarının 10.000 feet irtifaya tırmanma süreleri yolcu uçaklarına kıyasla daha uzun sürdüğü için 10.000 feet ve aşağısında meydana gelebilecek buzlanma ve türbülans koşulları insansız hava araçları için son derece önem arz etmektedir. Aynı durum helikopter trafiği için daha da büyük önem arz etmektedir. Buzlanma ve türbülans bilgileri mevcut konuma özgü olarak meydan meteoroloji ofisleri tarafından Skew-T diyagramları kullanılarak pilotlara verilmektedir. Şekil 1'de Skew-T diyagramı ve üzerindeki sıcaklık, basınç, kuru ve nem adyabatlar, karışma oranı çizgileri gösterilmektedir.



Şekil 2. Skew-T Diyagramı (Skew-T Log-P diagrams, 2020)

Skew-T diyagramları ülkemizde 8 meydana gerçekleşen ravinsonde rasatları sonucu oluşturulmakta ve oluşturulan bu çıktılar modellere işlenerek ülkemizdeki her bir konum için Skew-T model çıktısı elde edilmektedir. Ravinsonde cihazının bir balonla birlikte atmosfere bırakılarak basınç, sıcaklık, nem, rüzgâr değerlerini ölçmesi ve eş zamanlı olarak yerdeki istasyona

göndermesine ravinsonde rasatları denir. Ülkemizde ravinsonde rasatları Şekil 2'de verildiği gibi Adana, Ankara, Diyarbakır,

Erzurum, Isparta, İstanbul, İzmir ve Samsun istasyonlarında yapılmaktadır (MGM, 2020).



Şekil 3. Türkiye Ravinsonde İstasyonları ve WMO Numaraları (MGM, 2020)

Öte yandan, meteoroloji ofislerinin tahmin periyotları 9 saatten az ve 24 saatten fazla olamamakta ve her meydan 24 saatlik tahmin yayınlamamaktadır. İnsansız hava araçlarının havada uçuş süreleri ile yolcu uçaklarının uçuş süreleri farklılık göstermektedir. İnsansız hava araçlarının havada kalma süreleri 24 saat ve daha fazla sürebilmektedir. Bu nedenle meydan tahminlerinin yanı sıra diğer meteorolojik çıktılarının da uçuş planlamasındaki önemi büyüktür.

Gelişen havacılık sektörüne ve hava araçlarının meteorolojik ihtiyaçlarına daha fazla katkı sağlamak ve gereksinimleri karşılamak amacıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü özellikle insansız hava araçlarına daha iyi bir destek vermek amacıyla belirli kurallarda değişikliklere gitmekte ve bu değişiklikler uçuş emniyetine katkı sağlamaktadır. Örneğin, insansız hava araçlarının yoğun olduğu meydanlarda bütün bulutluluk bilgisine sahip olmak amacıyla meydan rasat kodlarından CAVOK kısaltması çıkartılmıştır. Meydan limitinin altında veya 5.000 feet altında herhangi bir bulut olmaması, görüş mesafesinin 10 km ve üzerinde olması, meydan civarında (15 km içinde) CB türü bulutların olmaması durumunda CAVOK kısaltması kullanılmaktadır (050 Meteoroloji, 2007). CAVOK kısaltması görüş ve bulut tabanı uçuş limitlerine uygun (cealing and visibility okay) anlamına gelmektedir. Böylece havadaki bulutlar ve kapalılık durumu ile ilgili bilgi yayınlanmakta ve buna göre hava koşullarının insansız hava araçları için uçuşa elverişli olup olmadığına karar verilmektedir.

Pilotlar, uçuş plancıları, meteoroloji uzmanları gibi meteorolojik hadiseler ve hava tahminleri çerçevesinde işlerini yapan kullanıcılar arasında havacılık meteorolojisine yönelik özel ve ortak bir dil anlamında bir terminoloji geliştirilmiştir. Örneğin bulutluluk için kullanılan terimler vardır: SKC (Sky Clear, Bulut Yok), FEW (Gökyüzünün 2/8'i bulutla kaplı), SCT (Scattered, Gökyüzü parçalı bulutlu, 4/8'i bulutla kaplı), BKN (Broken, Gökyüzünü 7/8'e kadar, neredeyse tamamı bulutla kaplı) ve son olarak OVC (Overcast, gözyüzünün 8/8'i, yani tamamı bulutla kaplı demektir) gibi terimler kapalılık için kullanılır (050

Meteoroloji, 2007). Buna benzer çeşitli kısaltmalar ve terimler yaygın olarak hava raporlarında yer alır.

Bu bölümde havacılıkta meteoroloji uygulamaları ve önemi çok net olarak verilmiştir. Her bilim dalında olduğu gibi meteoroloji sistemleri ve teknik donanımları her geçen gün iyileşmekte, yeni cihazlar geliştirilmektedir. Bu konuda da maalesef ülkemiz dışa bağımlıdır. Havacılık için elzem olan bu cihazlardaki teknolojileri anlamak ve bu teknolojileri daha ileri seviye götürmek zorunludur. Eğer güçlü bir havacılık istiyorsak meteoroloji alanındaki çalışmalarını desteklemeliyiz. Aynı zamanda teknik gelişmeleri yakından takip etmek zorundayız. Yoksa sadece kullanıcı olmak çok fazla bir şey ifade etmez. Meteoroloji Genel Müdürlüğü de üyesi olduğu uluslararası kuruluşlarla (EUMETSAT, ECMWF, WMO) meteoroloji konusundaki bilimsel ve teknik gelişmeleri yakından takip etmektedir.

3. Meteoroloji ve Havacılıkta Ortak Stratejiler

Yukarıda verilen bilgiler ışığında çok net olarak havacılık ve meteoroloji arasında çok önemli ilişkiler bulunmaktadır. İki yapı birbirini destekleyen olmazsa olmaz ikililerdendir. Genelde değerlendirmeler operasyon anlamında daha çok göze çarpmaktadır. Hava araçlarının istenen performansı sağlayabilmesi için ideal hava şartlarında uçuşması gerekmektedir. Uçuşa sağlanan verileri doğru ve güvenilir olması şarttır. Gerçek zamanlı hızlı veri akışı çok büyük öneme sahiptir. Hava şartlarına göre operasyon şartları belirlenmeli ve o şartlara göre planlama yapılmalıdır. Bunun yanında havacılıkta veya herhangi bir sektör için yatırımlar söz konusu olduğunda da bölgenin meteorolojik durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Yoksa uzun vadede ciddi maliyetlerle karşı karşıya kalınabilir. Kışın çok yoğun geçtiği, türbülansın çok fazla olduğu, sisin hiç eksik olmadığı bir bölgede havaalanı ne kadar etkin kullanılabilir? Hava araçlarının testleri nasıl sağlıklı bir şekilde yapılabilir? Yılın ne kadar zamanında uçuş testleri yapılabilir? Bu soruların anlamlı cevapları olması gerekmektedir. Yapılan yatırımdan nasıl verim

alınabilir? Bütün bu faktörler ışığında devletimizin veya özel sektörün yapacağı hemen hemen bütün yatırımlarda özellikle hava araçlarının üretim tesislerinin kurulacağı bölgelerde meteoroloji raporları çok dikkate alınmalıdır. Hem verimlilik hem maliyet hem de uçuş emniyeti açısından çok önemlidir. Tabi ki ülkemizde bu raporlar hazırlanmaktadır fakat raporların hazırlanmasında daha fazla hassasiyet gösterilmeli yeterli veri ile rapor desteklenmelidir. Ulusal Meteoroloji Stratejilerimiz güncel olmalı uluslararası stratejilerle uyumluluk göstermelidir. Stratejilere hassasiyetle uyulmalı belirlenen hedefler mutlaka ulaşılmalıdır. Stratejiler doküman olarak kalmamalı bilfiil sahada uygulanmalıdır. Yatırım stratejileri belirlenirken mutlaka bölgeyle ilgili yeterli miktarda meteorolojik veriler kullanılmalıdır. Somut bir örnek verilecek olursa birçok bölgeye yatırım yapılırken bölgenin hava şartları, mevsimlerin sağladığı avantajlar, tesisin maksimum kullanılabilme kabiliyeti gibi birçok özelliği dikkate alınmamaktadır. Bu durum da uzun vadede verimliliği azaltmakta ve maliyetleri arttırmaktadır. Bu örneklerden birisi eğlence (luna) parklarıdır. Bu parklar inşa edilirken iklim şartları dikkate alınmadığında yılın büyük bir bölümü park kullanılamamakta, bakım masrafları yüksek olmakta ve yatırımın verimliliği düşmektedir.

Gelişmiş ülkelerde hava trafiği her geçen gün hızla artmaktadır. Hava araçları yakıt sarfiyatı anlamında çok ciddi manada tüketicilerdir. Çevre kirliliğine neden olan karbondioksit salınımı yanı sıra havaya su buharı ve nitrik asit de bırakmakta, küresel ısınmayı tetikleyici olumsuz etkenlerden biridir. Uçak yakıtı, diğer adıyla kerosen, yüzde 86 karbon ve yüzde 14 hidrojen oluşuyor. Karbon yanma sırasında havadaki oksijenle birleştiği için bir uçağın yaktığı her bir kilogram kerosen için türbinlerden 3,15 kilogram karbondioksit atmosfere salınıyor.

Diğer önemli bir hususta ülkemiz gibi enerji konusunda dışa bağımlı ülkelerde yakıt tasarrufları çok büyük öneme sahiptir. En basit şekliyle hava şartlarının iyi olduğu bölgelere havaalanları kurmak, hava araçları üreten şirketlerin test faaliyetlerini uçuş şartlarının en iyi olduğu bölgelerde yapmak hem yakıt hem de uçuş emniyeti açısından çok büyük öneme sahiptir. Bu doğrultuda Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde politikalar geliştirilmeli ve bu politikalar devletin en üst makâmı tarafından zorunlu hale getirilmelidir. Kaynakların etkin ve verimli kullanılması bakımından çok büyük öneme sahiptir. Ulusal Meteoroloji Stratejisinin yatırımlarda göz önünde bulundurulması ve devlet gücüyle istisnasız uygulanması gereklidir.

4. Sonuç

Havacılık, meteorolojik olaylara son derece duyarlı bir sektördür. Günümüzde uçuşların daha emniyetli ve konforlu olması için uçuş planlamaları, meteorolojik koşullar göz önünde bulundurulurken hazırlanmaktadır. Meteoroloji havacılık işletme ve planlama hizmetlerinin önemli bir parçası haline getirmiştir. Bu çalışmada uçuş planlaması yapılırken uçuş emniyetini sağlamak amacıyla meteorolojik bilgi ve değerlendirmelerin çok büyük öneme sahip olduğu açıkça görülmüştür. Hava trafiğinin olumsuz hava koşulları nedeniyle sektöre uğramaması için planlama ve işletme stratejilerinin yanı sıra, pilotlar ve hava trafik kontrolörleri için meteorolojik veriler oldukça önemlidir. Emniyetli, konforlu ve ekonomik uçuş için meteorolojiyle uyumlu planlamalar yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Havacılık ve meteoroloji birbirinden ayrılmaz bir ikili olarak değerlendirilmelidir. Ortak politikalar belirlenmesi oldukça büyük öneme sahiptir.

Havacılık sektöründe geline son nokta göstermektedir ki, havacılık teknolojisindeki gelişmeler havacılık faaliyetleri için gerekli meteorolojik bilgilerin giderek daha da önemli hale geleceğini bize ifade etmektedir. Havacılık yatırımları yapılırken meteorolojik bilgiler ile uyumlu yatırımlar yapılmalıdır.

Meteoroloji altyapısı da havacılık sektörünün ihtiyaçlarına göre yapılandırılmalı ve güncellenmelidir. Havacılığın hâlihazırdaki ve gelecekteki ihtiyaçları güvenilir bir şekilde karşılanabilmesi için meteorolojik altyapı bilimsel ve teknolojik gelişmeleri dikkate alarak tasarlanmalıdır. Son olarak havacılık özelinde de ulusal meteoroloji stratejisi geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

Kaynaklar

- Atlas (2012) The Pilots' Free Flight Atlas, Absolutezero Multimedia, ISBN 3-00-003648-2, www.absolutezero.de.
- Dervişoğlu, F. (2014). İstikbalini Gözde Arayan Ülke ve Türk Havacılık Sahasında Alman Menfaatleri Işığında Bir Ortaklık: Tomtaş. Cumhuriyet International Journal of Education, 3(3), 68-82. doi:10.30703/cije.321351.
- Gök, Kerem. (2015). Türk Sivil Havacılık Tarihine Damgasını Vuran Uçak Kazaları, Altın Bilek Yayınları, İstanbul
- Havacılık ve Meteoroloji. (n.d.). <https://uteddergi.com/havacilik-ve-meteoroloji/> web sayfasından alınmıştır (02.04.2020).
- Jeppesen Meteorology (2004) JAA ATPL Training, Jeppesen Sanderson Inc., ISBN 0.88487.350.1 (www.jeppesen.com)
- MGM. (n.d.). Sıkça Sorulan Sorular - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=ravinsonde> web sayfasından alınmıştır (05.04.2020).
- Pooley, Dorothy, ve David Robson. The Air Pilot's Manual 3: Air Navigation: Pooley's Air Pilot Publishing, 2010.
- Skew-T Log-P diagrams. (n.d.). <https://www.weather.gov/jetstream/skewt> web sayfasından alınmıştır (05.04.2020).
- Yalçın, Osman. (2010). Türk Devleti'nin Uçak Fabrikası Kurma Mücadelesinde İlk Girişim: Tayyare ve Motor Türk Anonim Şirketi (TOMTAŞ) ve Kayseri Uçak Fabrikası. Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi, 26 (78), 561 - 588.
- 050 Meteoroloji (2007) Meteoroloji Ders Kitabı, Türk Hava Kuvvetleri 2 nci Ana Jet Üs Komutanlığı Yayınları (1.Baskı).
- Türk Hava Kuvvetleri UÇAKLARI. Turkish air forces AIRCRAFTS. <https://www.tayyareci.com/digerucaklar/turkiye/index.asp> web sayfasından alınmıştır (07.04.2020).
- tusas.com, <https://www.tusas.com/kurumsal/hakkimizda> web sayfasından alınmıştır (10.04.2020).
- ICAO (2005) Doc 9817 AN/449 Manual on Low Level Wind Shear – First Edition.



Exposed Gamma Doses in air and Assessment of Cancer Risk around Gebze (Kocaeli/Turkey) Region

Muttalip Ergun Turgay^{1*}, Zeynep Acar², Zeki Ünal Yümün^{3†}, Arev Artun⁴, Erol Kam⁵

¹ Yalova University, Faculty of Engineering, Yalova, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1708-8283), eturgay20@hotmail.com

² Yıldız Technical University, Faculty of Arts and Sciences, İstanbul, Tekirdağ (ORCID: 0000-0003-2159-1930), zeynep.karaalioglu@hotmail.com

^{3*} Namık Kemal University, Faculty of Engineering, Department of Environmental, Tekirdağ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0658-0416), zyumun@nku.edu.tr

⁴ Yıldız Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Department of physics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6868-9890), arevartun@gmail.com

⁵ Yıldız Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Department of physics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5850-5464), erolkam@yildiz.edu.tr

(First received 16 January 2021 and in final form 14 May 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.862361)

ATIF/REFERENCE: Turgay, M. E., Acar, Z., Yümün, Z. Ü., Artun, A. & Kam, E. (2021). Exposed Gamma Doses in air and Assessment of Cancer Risk around Gebze (Kocaeli/Turkey) Region. *European Journal of Science and Technology*, (25), 139-144.

Abstract

By this study, it is focused to assessment of inhalation quality for Kocaeli province especially Northeast side of Marmara Sea (Gebze county and its territory). In this case, radioactivity analysis in air was realized via air dose rate measurements around this region which is so closed neighbor to big city İstanbul. By measuring of the outdoor gamma dose rates on 35 stations, it was possible to get the average dose rate. Then it was calculated to annual dose in air. Besides, cancer risk was determined for Kocaeli. All these values were compared with the World's references (UNSCEAR) and reported finally. It was measured the average dose rate as **23.90 nGyhr⁻¹** and annual dose was calculated to **29.31 µSv**. This dose is required to excess lifetime cancer risk as **1.02x10⁻⁴**. These values could be compared to the similar studies which existed around the world. Finally, the average annual effective dose equivalent and excess lifetime cancer risk for Kocaeli, are less than the world average. This study would be used to a reference for further investigations, besides it will be usefull to compare with different studies for Kocaeli which, will be evaluated in the future, for example after a nuclear pollution, such as based on a reactor leakage comes from Black Sea region and neighbours, nuclear attacks, etc., too. Another benefit would be made to enlarge to find this kind of studies in literature.

Keywords: Dose rate, AEDE, Outdoor Gamma, E.L. Cancer Risk, Kocaeli

Gebze (Kocaeli / Türkiye) Bölgesinde Maruz Kalınan Gama Doz Değerleri ve Kanseri Riskinin Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışmada Kocaeli ili, özellikle Marmara Denizi'nin kuzeydoğu tarafı (Gebze ili ve çevresi) gama doz değerleri ile kanser risk değerleri araştırılmıştır. Açık havadaki radyoaktivite analizleri, İstanbul'a yakın olan bu bölge için gama doz hızı ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında 35 bölgede dış ortam gama doz oranları ölçülerek ortalama doz oranı elde etmek mümkün olmuştur. Daha sonra yıllık gama doz değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca bu değerler kullanılarak kanser risk değerleri elde edilmiştir. Tüm bu değerler Dünya Referans değerleri (UNSCEAR) ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda ortalama gama doz hızı 23.90 nGyhr⁻¹, yıllık doz hızı ise 29.31 µSv. Yaşam boyu kanser risk değeri 1.02x10⁻⁴ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, dünya çapında var olan benzer çalışmalarla karşılaştırılabilir. Sonuç olarak, Kocaeli için ortalama yıllık etkin doz değeri ve yaşam boyu kanser riski değeri dünya ortalamasının altındadır. Bu çalışma, ileride yapılacak araştırmalar için referans olarak kullanılacağı gibi, ileride Kocaeli için farklı çalışmalarla karşılaştırılmasında faydalı olacaktır, örneğin bir nükleer kirlilikten sonra örneğin Karadeniz'den gelen reaktör sızıntısı gibi.

Anahtar Kelimeler: Gama doz, Yıllık etkin doz, Kanseri risk, Kocaeli

* Başlıca Yazar: eturgay20@hotmail.com

† Sorumlu Yazar: zyumun@nku.edu.tr

1. Introduction

Radioactivity which a randomize event, occurs naturally (primordial nuclides) or by artificial processes. The largest contribution to total radiation dose whichever received by humans, comes from Natural Radiation. Therefore, environmental radioactivity measurements are necessary for determining the background radiation level especially due to natural radioactivity sources. The natural radiation which measured outdoor gamma dose, consist of cosmic rays and terrestrial components. Terrestrial radiation can be measured via gamma-ray spectroscopy separately. By the way, cosmic effects would be calculated by subtracting of terrestrial from measured outdoor gamma dose, too. The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2008) estimates the global average human exposure from natural radiation sources as 2.4 mSv per year and the radionuclides that are present of *soil* samples (terrestrial components) are considered to be responsible for a portion of this amount [1]. Rest amounts are originated water and air, too.

1.1.Literature Survey

Over the past two decades, a few results due to radioactivity levels have been published in some papers related gamma dose rates in air for Turkish provinces ([2] to [12]). Near by, there is no study for Kocaeli region in literature especially. Therefore, the purpose of this study is to measure dose rates in air from different locations throughout the city and then assess the cancer risk to human life by calculation of the outdoor gamma dose. The human population in this city is up to one million and this study will be baseline for next studies about environmental radioactivity measurements, too.

By the way, there are also stated the worldwide studies in literature. As an example of them; in 2002, Ghiassi and Mortavazi have measured the absorbed gamma dose rates in air for Ramsar region of Persia. They have studied the effects of radiation on human life. The annual dose was also calculated that it is 260 mSv and this value is more higher than the stipulated annual limit of 20 mSv in North Persia. In genetic works, the effects of this high level were obtained the differency of the blood lenfosid samples of humans [13]. Another researches were also evaluated for Brasil and Canary Island [14] and [15], too.

1.2. Measuring District

1.2.1. Geographically Analysis

Kocaeli province is existed on east of Marmara Region and coordinates are as well as 40° 31' - 42° 42' latitudes and 29° 22' - 31° 22' longitudes. Neighbours could be written as; North side, Black Sea and Şile district (Istanbul); East side, Sakarya province; South side, Yalova and Bursa provinces; West side, İstanbul province. Kocaeli province has 6 county except İzmit (central) and totally 653 settlements. Counties are Derince, Gebze, Gölcük, Kandıra, Karamürsel and Körfez. Kocaeli-İstanbul border contents east of Kemikli River; Kocaeli- Bursa border lines Samanlı Mountains; Kocaeli-Sakarya border stars east Eşme and Maşukiye's east regions. Kocaeli spans an area of 3.626 km². Population is around two million (Wikipedia, 2019 [16]).

1.2.2. Topografic Analysis

Region consists of the mountains cumulatively as % 19. North side, by hill by consequently, South side, Samanlı Mountains continously. Samanlı Mountains exists from Armutlu peninsula and followed west-east lines. Its length is 130 km and width is 30 km. Highest pick is Kartepe (1601 m) and the others; Dikmen Mountain (1387 m) and Naldöken Mountain (1125 m), Naz Mountain (917 m) and Çene Mountain (646 m). Kocaeli has generally plateau and concerns around %74.6. The most important plains are the İzmit plain between İzmit city and Sapanca Lake, the surface area of the İzmit plain between Dilovası, Altınova in the Karamürsel and Sapanca lakes of the İzmit Gulf is 70 km², and its height is 10 m. It is a wet and fertile land and suitable for agriculture. Important rivers are Kocadere, Kaynarca, Doğanç and Sarısu; and Streams are Çayıova, Hatıpdere, Ağadere, Dereboğazıdere, Erenlerdere, Memelidere, Bekirdere, Serindere, Yalakdere and Çenesuyu river [17]. There are Sapanca and Herzegovina lakes within the provincial borders of Kocaeli. The width of the Lake of Sapanca starting from 17 km east of İzmit Bay and extending to 16 km east and 7 km of which is within the borders of Kocaeli is 5.5 km in the north-south direction and its surface area is 47 km². Samanlıdağları section of Kocaeli province is covered with forests. Generally, the upper parts of the mountains are covered with coniferous trees and the lower parts with broad-leaved trees. As you approach the sea, vegetation (maquis) of the Mediterranean climate is encountered. Fruit, vegetables and olives are dominant in the coastal regions of the province. Topografic map of Kocaeli is given in **Figure 1** [17].

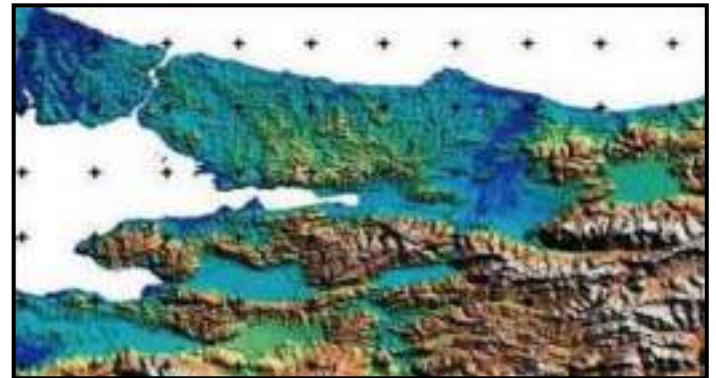


Figure 1: Topografic map of Kocaeli [17]

1.2.3. Geomorphologic Analysis

The northern part of Kocaeli province is an abrasion surface originated plateau area that corresponds to the water section area between the Black Sea and İzmit Bay (Marmara Sea) and constitutes the highest part of the Kocaeli Peninsula. Finally, the area, which was penetrated in Pliocene, completely increased during the "Post-Alpine" tectonic movements, the southern part was completely elevated, and later it was split into rivers and turned into a plateau. The average elevation in the western part is around 200-300 m. The elevation value increases to the east and the field gets a hilly view with deep slope and valley slope. Shapes belonging to karst topography are commonly found in parts of the peninsula, which consist of molten (karstic) limestones. It is a typical section between the Triassic and Upper Cretaceous aged karstic limestones, between the Tavlılı-Hereke line on the west of the Tavlılı-Hereke line, and the area between the Dil Heresi-Tavsanlı Creek-Ayvalık Stream on the east, and the area stretching up to Köseköy-Tepeköy in the north. In this area, where karstification is deep, there are numerous and varied

karst depressions, dry valleys, subatans, criminals and caves, consisting of various lapias, dolinas and valas [17].

2. Material and Method

2.1. Inhalation

Airborne radioactivity, provides the first opportunity to identify the spectrum of radionuclides making up the contamination. Radionuclides will very rapidly appear in ground level air, and air samples can give the first indication of the nature of the contamination. Radioactive materials in the air may result in exposure to human by inhalation.

2.2. Measuring points for gamma dose rates in air

Coordinates are assigned by the GPS instrument which Macellan Explorist 510. There are 20 pcs different coordinates given in **Table 1** for only Gebze county with dose rates together.

Table 1: Coordinates as classified due to Gebze county

Measure-ment Locations (ML)	Dose Rates (nGy hr ⁻¹)	Coordinates			
		Latitude (pointed)		Longitude (pointed)	
ML-1	10.45	40.7977°	705699.67	29.4383°	4519161.00
ML-2	10.50	40.7979°	705656.87	29.4378°	4519182.04
ML-3	10.90	40.7978°	705598.12	29.4371°	4519169.29
ML-4	11.00	40.7979°	705783.42	29.4393°	4519185.56
ML-5	11.05	40.7970°	705541.53	29.4364°	4519078.83
ML-6	12.40	40.7975°	705691.85	29.4382°	4519138.57
ML-7	13.00	40.8137°	705667.11	29.4385°	4520937.80
ML-8	21.70	40.7980°	705867.48	29.4403°	4519199.01
ML-9	22.45	40.7975°	705835.28	29.4399°	4519142.56
ML-10	29.25	40.7973°	705717.78	29.4385°	4519117.07
ML-11	31.00	40.7972°	705709.65	29.4384°	4519105.73
ML-12	36.65	40.8138°	705633.06	29.4381°	4520947.97
ML-13	37.05	40.8149°	705612.79	29.4379°	4521069.62
ML-14	37.12	40.8146°	705681.20	29.4387°	4521038.19
ML-15	38.23	40.8145°	705689.94	29.4388°	4521027.32
ML-16	39.65	40.8148°	705714.32	29.4391°	4521061.34
ML-17	42.16	40.8136°	705658.98	29.4384°	4520926.47
ML-18	42.41	40.8133°	705626.17	29.4380°	4520892.22
ML-19	43.17	40.8142°	705707.74	29.4390°	4520994.49

ML-20	46.12	40.8141°	705699.61	29.4389°	4520983.15
	27.31	Average		Gebze (20)	

2.3. Measurement System

The outdoor air dose gamma rate measurements around Hatay province were perfected by using a counter (Eberline, ESP-2), portable device and connected with a SPA-6 model plastic scintillator. Instrument was kept up to 1m from soil surface and at the sampling point, measurement duration was 60 second. Then the average dose rates were recorded. The main instrument is ESP-2. Related detector was connected to the ESP-2 via an MHV-series coaxial connector. Readout of detector has been presented with 2×16 alphanumeric display, LCD.

This ratemeter is operated by CPU/Intel 80C31 processor family and has got external RAM 8KB, EPROM 16KB. The scintillation detector body (SPA-6) connected to the counter (ESP-2), was selected to optimize its output for the radiation of interest. It provides the pulse signal to the electronics for counting. The pulse rate from the detector is proportional to the radiation field intensity at the detector. The high voltage supply provides the required bias voltage to the detector. The high voltage is keyboard adjustable and provides the correct operating voltages for a large selection of detectors. The low voltage supply regulates the operating voltage for the ESP-2 electronics as shown in Figure 2 [18, 23]. The amplifier is a linear, adjustable gain, multistage design. It amplifies the signal from the probe to a usable level at the amplifier output. The discriminator provides a signal on its output only if the signal from the amplifier exceeds the adjustable threshold. This provides a means for rejecting noise and/or unwanted signal.



Figure 2: ESP-2 Rate meter and SPA-6 scintillation detector; Eberline [18]

2.4. Outdoor dose rates as originated to the terrestrial effect and cosmic ray

Absorbed gamma doses are originated to terrestrial and cosmic rays together. In order to obtain the absorbed gamma dose rates in air, the instrument was kept about 1 meter upperside from ground level. Because about on this level; it is important that how much dose exposed in air against to human gonad. The human gonad is the more important organ against to radiation damage. Annual doses in air were also calculated by using the gamma dose rates. Gamma dose rate information was given in **Table 2**. Related **dose rate map** was given in Figure 3, too.

Table 2: ADRA values for Kocaeli Province

County Name (nm. of sampling)	Absorbed Gamma Dose Rate (ADRA) [nGy hr ⁻¹], average
Kocaeli [rural areas*] (15)	19.35
Gebze (20**)	27.31
Total (35)	23.90

*In this study, total 15 different points were selected to take dose rate around Kocaeli rural (av. 19.35) lands as, Kumla River (6.10)- Karayakuplu (9.90)- Kandıra (13.00)- Hediyeeli (14.70)- Demokrasi Park (14.75)- Dilovası (14.80)- Y. Hereke (15.18)- Tavşancıl (16.50)- Akçaova (16.60)- Yassıbağköy (17.35)- Yağcılar (18.75)- Çakmaklarköy (26.59)- Derince (33.65)- Körfez (34.85)- ÜtükDam (37.55).**Gebze county is a big industrial land and planned to take the dose rates from 20 stations in this county (Table 1). Regarding measured dose rates for 20 locations as well picked from Table 1, dose rate map is shown in Figure 3.

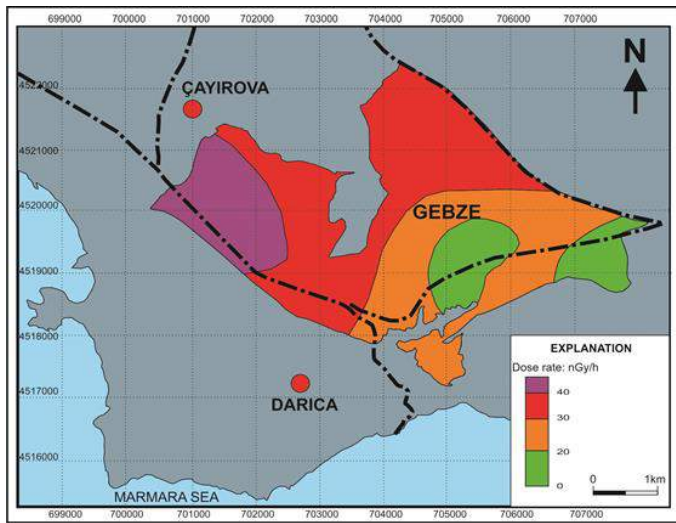


Figure 3: Outdoor Gamma Dose Rate (nGy⁻¹) map for Gebze and its territory

3. Results and Discussion

3.1. Determination of Annual Effective Dose Equivalent (AEDE) and Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR) by using Absorbed Gamma Dose Rates in air (ADRA):

It is easy to calculate annual effective dose equivalent (AEDE) and Excess Lifetime Cancer Risk by using absorbed gamma dose rates, with reference of (UNSCEAR, 2008) [1]:

$$AEDE = ADRA * DCF * OF * T \quad Eq. 1$$

Where ADRA is absorbed dose rate in air (nGy⁻¹), DFC is dose conversion factor (0,7 Sv Gy⁻¹), OF is outdoor occupancy factor (0.2), T is exposure time (8760 h y⁻¹). AEDE is annual effective dose equivalent (μSv), DL is duration of life (70 year), RF is risk factor (Sv⁻¹) as fatal cancer risk per Sv (calculate to stochastic effects; ICRP 60 [19]) uses value of 0.05 for the public (ICRP, 2007), ELCR is excess lifetime cancer risk.

3.2. AEDE and ELCR values and Standard Deviations

Annual doses and Cancer Risk values are given in Table 3 for Gebze and Rural districts of Kocaeli. Standard deviations were also calculated and given in below table, too. Due to large differency of the values, deviations were also obtained in high ratio as roughly 17% AEDE and 16% for ELCR.

$$ELCR = AEDE * DL * RF \quad Eq. 2$$

Eq. 2

Table 3: AEDE and ELCR values for Kocaeli

County Name	(AEDE) [μSv], average	Standard Deviation for AEDE	ELCR [(x10 ⁻⁴), average]	Standard Deviation for ELCR
Kocaeli-rural districts* (15)	23.73	-	0.83	-
Gebze (20**)	33.49	-	1.17	-
Kocaeli (35)	29.31	4.84	1.02	0.17

3.3. Comparison between OUR measurements to RESA's values

TAEK, Turkish Atomic Energy Agency periodically measures the natural radiation in air by RESA [18,21,22] system which consist of a Geiger detector and reader, too. Due to locations of this system, there is one measuring point in Izmit as central county as referenced to Kocaeli province. Below pictures are referred the RESA system in Figure 4 clearly. It was observed online as 70 nSv⁻¹ by RESA and it refers to 100 nGy⁻¹. Average of our measurements is 23.90 and maximum is 46.12 nGy⁻¹. There are a lot of possible reasons due to this differency.

One of them is that; Our measurements are not for only one fixed point as well as in RESA. Other reason would be the counting device type. RESA device is basic Geiger- Müller counter. Our device is scintillator and has higher efficiency. Measurement times are also another reason to this differency. Annual doses and Cancer risks were drawn in Figure 5 and Figure 6.



Figure 4: RESA detector- counter and control center, TAEK [20]

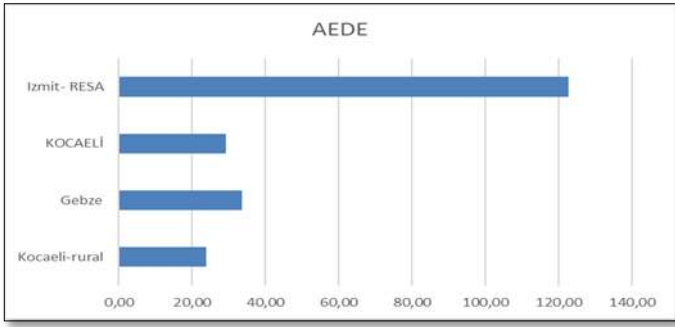


Figure 5: Horizontal Bar chart [AEDE in μSv]

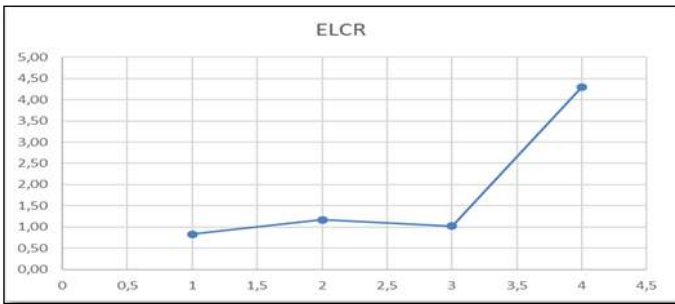


Figure 6: Line Graphic; Kocaeli-rural, Gebze, Kocaeli, Izmit-RESA [ELCR, $\times 10^{-4}$]

3.4. Statistics and comparison

Similar studies which picked up from literature, were compared in Table 4, not only AEDE but also ELCR values, too.

Table 4: Comparison for AEDE and ELCR values

[ref no], Region, (nmof samplings)	(AEDE) [μSv], average	ELCR [$(\times 10^{-4})$], average	Reference, Year
[02] Adana	82.00	2.87	Değerlier, et all., 2008
[03]Ankara (341)	71.83	2.69	Kapdan, et all., 2018
[04]Artvin (204)	214.50	7.50	Taşkın, et all., 2015
[05] Balıkesir (92)	156.30	6.30	Kapdan, et all., 2011
[06]Çanakkale (379)	81.40	2.85	Kam, et all., 2007
[07]Edirne (14)	47.30	1.66	Z.Ü.Yümün, et all., 2018
[**]Hatay (215)	63.93	2.24	M. E. TURGAY, **
[08] IDA (75)	198.66	6.95	Muttalip Ergun TURGAY, 2019
[09] İstanbul	79.72	2.79	G. Karahan, A.

(105)			Bayülken, 2000
[10]Kastamonu (60)	58.88	2.06	Kam, et all, 2007
[11] Şanlıurfa	74.70	2.62	Kam, et all, 2007
[12] Bolu (74)	27.23	0.95	M. E. TURGAY, et all.,
ThisStudy (35)	29.31	1.02	M. E. TURGAY, et all.,
[20]Kocaeli (izmit)	122.64	4.29	TAEK- Resa, 365 days- online
[1] World	73.60	2.58	UNSCEAR, 2008
[13] R. D. J.-Brasil	90.00	3.15	Licinio, et all., 2013
[14]Ramsar-IRAN	105.00	3.68	Ghiassi, et all., 2002
[15] Canary I-Spain	91.95	3.22	Arnedo, et all., 2017

****Not published, yet.**

Data which existed in Table 4, refers below distribution in Figure 7, regarding Excess Life Time Cancer Risk corresponding to Annual Effective Dose Equivalent.

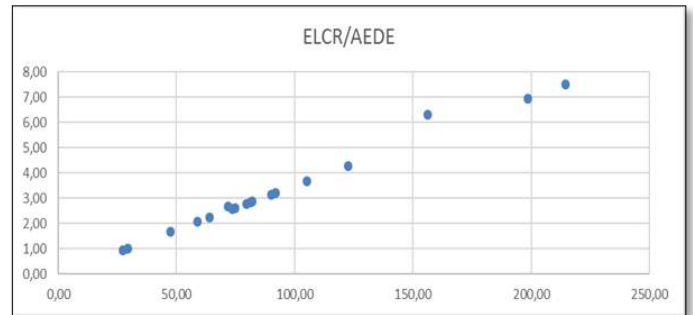


Figure 7: Distribution due to ELCR to AEDE [$\times 10^{-4}$; μSv]

4. Conclusions and Recommendations

Maximum dose rate for Kocaeli (Gebze district) was measured to 46.12 nGyhr^{-1} and minimum was measured 6.10 nGyhr^{-1} for rural (around Kumla river). Maximum annual dose is calculated to $56.56 \mu\text{Sv}$ and $1.98 (\times 10^{-4})$ as ELCR. Minimum annual dose is calculated to $7.48 \mu\text{Sv}$ and $0.26 (\times 10^{-4})$ as ELCR. These values are a little bigger than the Bolu' s values which both provinces are neighbour. Kocaeli is important industry region and so close to Istanbul. Relatively low radiation values are important for regional population. This province has also seaside line along the Black Sea and open to any nuclear pollution which would be carried from Ukraine or Russia in the future. By this study, it will be one of the literature database due to comparison after a potentially nuclear pollution. Kocaeli is on the North Anatolian seismic zone and whether if any increasing of radiation doses would be shown the relation due to a seismic activity, too. In this moment, these results in our study, indicate

that there is no risk originates to inhalation around Kocaeli province in Turkey.

References

- [1] UNSCEAR., Report of the United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation, sources, effects, and risks of ionizing radiation. United Nations Sales Publication, New York, 2008.
- [2] M.Değerlier, G.KARAHAN, “Ph. D. Thesis: Annual Effective Dose of Natural Environmental Radioactivity Measurements for Adana region”. N.S. Institue- CU/ Adana. 2007.
- [3] E. Kapdan, N. Altınsoy, G. Karahan & A. Yüksel, “Outdoor radioactivity and health risk assessment for capital city Ankara, Turkey”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 318. 1033-1042, 2018.
- [4] Y. Kobyay, H. Taşkın, C. M. Yeşilkanat & U. Çevik, “Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk in Artvin Province, Turkey, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 21:8, 2077-2085, 2015.
- [5] E. Kapdan, A. Varınlıoğlu & G. Karahan, “Outdoor Radioactivity and Health Risks in Balıkesir, Northwestern Turkey”, *Radiation Protection Dosimetry*, pp: 1-9, 2011.
- [6] E. Kam, A. Bozkurt & R. Ilgar “A study of background radioactivity level for Canakkale, Turkey”. *Environ Monit Assess*, 168: 685–690, 2010.
- [7] Z. Ü. Yümün, K. Bayrak, H. Aksoy & U. Ayselı, “A Study of Background Radioactivity Level for Edirne, Turkey”, *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 2018.
- [8] M. E. Turgay, “Cancer Risk Determination for IDA villages by using Annual Gamma Doses in Air, around Edremit&Ayvacık Districts; Balıkesir&Çanakkale, TURKEY”, *European Journal of Science and Technology* No 15, pp. 433-439, 2019.
- [9] G. Karahan & A. Bayülken, “Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey)”, *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, 213-221, 2000.
- [10] E. Kam & A. Bozkurt “Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey”, *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 440-444, 2007.
- [11] A. Bozkurt, N. Yorulmaz, E. Kam, G. Karahan & A.E. Osmanlıoğlu, “Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey”, *Radiat. Meas.*, 42, 1387-1391, 2007.
- [12] N.Z. Ateş, K. Bayrak, M.E. Turgay & E. Kam, “Evaluation of Excess Lifetime Cancer Risk Caused by External Exposure due to Natural Radioactivity in Bolu, Turkey”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38 (2), 945-954, 2020.
- [13] M. Ghiassi, S. M. Mortazavi & J. R., Cameron, “Very High Background Areas of Ramsar, Iran: Preliminary Biological Studies”, *Health Physics*, 82(1), 87-93, 2002.
- [14] M.V.,Licínio, A.C. Freitas, H. Evagelista, A. Costa-Gonçalves, M. Miranda & A.S. Alencar, “A high spatial resolution outdoor dose rate map of the Rio de Janeiro city, Brasil”, *Risk Assessment and Urbanization Effects. J Environ Radioact* 126, 32-9, 2013.
- [15] M. A. Arnedo, J. G. Rubiano, H. Alonsa, A. Tejera, A. Gonzalez, J. Gonzalez, J.M. Gil, R. Rodriguez, P. Martel & J.P. Bolivar, “Mapping natural radioactivity of soils in the eastern Canary Islands, Spain”, *Journal of Environmental Radioactivity*, 166, 242-258, 2017.
- [16] www.wikipedia.org. 2019.
- [17] CED, Branch Management, 2011.
- [18] <http://www.pchemlabs.com/manuals/pdf/eberline-esp2-technical-manual.pdf>.
- [19] ICRP., ICRP Publication 103 recommendations of the ICRP: annals of the ICRP volume 37/2-4. International Commission on Radiological Protection. Pergamon Pres, 2007.
- [20] RESA, Radiation Measurement Systems TAEK (online).
- [21] E. Kam, Z. Ü. Yümün, M. Önce & G. Açıkgöz, “Gamma Dose Rate Values In The Kulakçayı Natural Lake and The Vicinity (Arnavutköy, İstanbul). *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 1(1), 29-33, 2016.
- [22] Z. Ü. Yümün, E. Kam & M. Önce, “Gamma Dose Values of Stratigraphic Units Surfaced in Behramkale (Çanakkale) Zeytinli (Edremit-Balıkesir) Section of Kaz Mountains”. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 7(1), 207-214, 2019.
- [23] O. Günay, “Determination of Natural Radioactivity and Radiological Effects in some Soil Samples in Beykoz-İstanbul”. *European Journal of Science and Technology*. 12, 2018.



Akçaağaç Şurubu Hastalığının Beslenme Tedavisinde Güncel Yaklaşımlar

Elif Maden^{1*}, Sümeyye Uçak², Yasemin Yılmaz³

1* İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8697-7469)
dytelifmaden@gmail.com

2 İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1563-8464)
dysumeyyeucak@gmail.com

3 İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2190-073X) yasemin.yilmazer@izu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 10 Mayıs 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866160)

ATIF/REFERENCE: Maden, E., Uçak, S., Yılmaz, Y. (2021). Akçaağaç Şurubu Hastalığının Beslenme Tedavisinde Güncel Yaklaşımlar. *European Journal of Science and Technology*, (25), 145-151.

Öz

Akçaağaç Şurubu İdrar Hastalığı (Maple Syrup Urinary Disease; MSUD) lösin, izölösin ve valin metabolizmasındaki bozukluk sonucu oluşan, idrarda akçaağaç şurubu kokusu ile karakterize otozomal resesif geçişli bir hastalıktır. Bu hastalığın Türkiye’de görülme sıklığı 1/200.000’dir. MSUD hastaları tarafından sunulan başlıca klinik özellikler arasında ketoasidoz, büyüme gelişme geriliği, yetersiz beslenme, apne, ataksi, nöbetler, koma, psikomotor gecikme, hiperaktivite ve zihinsel gerilik görülmektedir. Akçaağaç şurubu idrar hastalığının klasik, aralıklı, orta düzey, tiamine duyarlı, E3 eksikliğine bağlı olmak üzere beş tipi bulunmaktadır. Yaygın olarak yenidoğanlarda görülen klasik MSUD, yetersiz beslenmeden kaynaklı olarak komayla ve tedavi edilmezse ölümlü sonuçlanabilir. Semptomların görülmeye başlaması, protein alım miktarına bağlı olarak değişebilir. Semptomların başlamasından sonraki birkaç gün içinde tedavi edilen hastaların çoğu hayatta kalır ve herhangi bir nörolojik hasar geliştiremeyebilir. Akut kriz ataklarının düzeltilmesinden sonra Dallı Zincirli Amino Asit’leri (DZAA) kısıtlamaya yönelik uzun süreli beslenme tedavisine geçilir ve bu tedavinin yaşam boyu sürdürülmesi gerekmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, beslenme tedavisine erken başlanması halinde oluşabilecek beyin hasarlarının en aza indirildiği gösterilmiştir. Bu derlemede akçaağaç şurubu idrar hastalığı bulunan bireylerde beslenme tedavisinin önemini vurgulanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: MSUD, Lösin, İzölösin, Valin, Dallı Zincirli Aminoasit, Beslenme Tedavisi.

Current Approaches in the Treatment of Maple Syrup Urinary Disease

Abstract

Maple Syrup Urinary Disease (MSUD), an autosomal recessive inherited disease, occurs as a result of defects in leucine, isoleucine and valine metabolism and is characterized by the odor of maple syrup in the urine. The incident of this disease is 1 / 200,000 in Turkey. The main clinical features presented by MSUD patients are ketoacidosis, growth and development retardation, malnutrition, apnea, ataxia, seizures, coma, psychomotor delay, hyperactivity and mental retardation. MSUD has five types as classical neonatal, intermittent, intermediate, sensitive to thiamin and connected to deficiency E3. Commonly seen the neonatal MSUD in newborns can result in coma as a results of malnutrition. It can result in death if left untreated. The onset of symptoms may vary depending on the amount of protein in the diet of patients. Most patients treated within a few days of the onset of symptoms survive and may not develop any neurological damage. After the correction of acute crisis attacks, long-term nutritional therapy is started to restrict Branched Chain Amino Acid. Such treatment must be continued for life time. Recent studies have shown that brain damage may minimize if the nutritional therapy is initiated earlier. In this review, it is aimed to emphasize the importance of nutritional therapy in individuals with MSUD.

Keywords: MSUD, Leucine, Isoleucine, Valine, Branched Chain Amino Acid, Nutritional Treatment.

* Sorumlu Yazar: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8697-7469, dytelifmaden@gmail.com

1. Giriş

Besinlerin yapı taşı oluşturulan yağlar, proteinler, aminoasitler, vitamin ve diğer farklı yapıların miktar ve çeşitlerine göre çeşitli reaksiyonlara sebep oldukları düşünülmektedir (Köseoğlu, 2020). Hücrelerin yapısını birçok farklı tipte protein bulunmaktadır (Altuntaş ve ark., 2020). Proteinler amino asitlerden oluşur ve yaşam için elzemdir (Köseoğlu, 2019).

Akçaağaç Şurubu Hastalığı (MSUD); valin, lösin ve izolösin dekarboksilasyonunda rol oynayan Dallı Zincirli Alfa- Ketoasit Dehidrogenaz (BCKAD) enzimidaki hasarlar sonucunda oluşmuş, doğuştan gelen bir metabolizma hastalığıdır. Valin, lösin, izolösin ve toksik metabolitlerinin kan ve idrarda birikmesi ile karakterize olup idrarda akçaağaç şurubu kokusu gözlemlenir (Köksal & Gökmen, 2019; Blackburn ve ark., 2017). Otozomal resesif geçişli metabolik bir hastalık olan MSUD'nin görülme sıklığı dünya genelinde 1:185.000 canlı doğum olduğu bildirilmiş olsa da bu oranın daha yüksek olabileceği tahmin edilmektedir (Karahan ve ark., 2014). ABD'de Mennonitesler'de görülme sıklığı 1/176, Gürcistan'da 1/84.000, İspanya'da 1/50.000 ve ülkemizde ise bu oran 1/200.000'dir.

MSUD patogenezinde genetik faktör olarak E1- alfa subunit gen (BCKDHA), E1-beta subunit gen (BCKDHB) ve E2 subunit gen (DBT) olmak üzere üç gen sorumlu tutulmaktadır. Bu genlerin allellerinde oluşan patojenik varyantların işlev kaybına neden olmasıyla hastalık ortaya çıkar (Demir Köse ve ark., 2016). MSUD de Alfa-Ketoasit Dehidrogenaz Kompleksi (BCKD)'nin dört alt birim bileşeni vardır. Bu bileşenler; E1a, E1b, E2 ve E3'tür. Her allelin alt birimini kodlayan patojenik varyantlar enzim kompleksinin aktivitesinin azalmasına ve DZAA'lerin dokularda ve plazmada karşılık gelen BCKA'in birikmesine neden olabilmektedir.

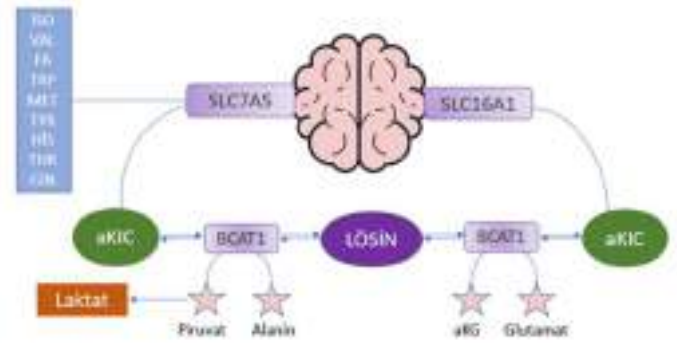
Tablo 1. BCKD'nin Alt Bileşenleri

MSUD tip 1A	BCKA dekarboksilaz (E1) alfa alt birimi
MSUD tip 1B	BCKA dekarboksilaz (E1) beta alt birimini
MSUD tip 1B	Dihidrolipoil transasilaz (E2) alt birimini

MSUD'nin Patofizyolojisi

Lösin, LAT1 (SLC7A5) aminoasit taşıyıcısı yoluyla beyne girmek için diğer dokuz amino asitle rekabete girer ve beyin kimyasını değiştirerek katabolik durumlar sırasında hızla artabilir. Dallı zincirli amino asit transaminaz (BCAT1), lösin ve a-ketoglutarattan (aKG'den) a-ketoizokaproik asit (aKIC) oluşumunu katalize eder; aKIC beyne monokarboksilat taşıyıcısı (SLC16A1) taşıyıcısı yoluyla girmekte olup yüksek konsantrasyonlarda nörotoksiktir (Kevin ve ark., 2020). Dokularda artmış miktarda bulunan aKIC, BCAT1 ile normal akışı tersine çevirmektedir ve böylece glutamat dokularını tüketir. Klasik MSUD'lu kişilerde, gerçekleşen bu karşılıklı dönüşümler lösin ile glutamat, glutamin ile alanin arasındaki ters ilişkileri göstermektedir. Tahminen metabolik ensefalopati sırasında ve beyin dokusunda gözlenen laktat yükselmesinin altındaki sebep de bu dönüşümden kaynaklanmaktadır (Kevin ve ark., 2020).

Resim 1. MSUD'nin Patofizyolojisi



Risk Faktörleri

Kalıtıl metabolik hastalıkların prenatal tanısı, özellikle akraba evliliği daha yüksek görülen ülkelerde önemlidir (Chapman, 2014). Türkiye Nüfus ve Sağlık araştırmaları verilerine göre Türkiye'de akraba evliliği oranı %22- %24 olduğu tespit edilmiştir (Koc & Eryurt, 2017). Akraba evliliğinin fazla görülmesinden dolayı kalıtıl metabolizma hastalıklarının ülkemiz için önemli bir sağlık sorunudur (Tanacan ve ark., 2019).

MSUD' de otozomal resesif olan kalıtıl hastalıktır ve bu hastalıktan etkilenen bir bireyin her bir kardeşinin etkilenme şansı %25, etkilenmeme şansı %50 ve taşıyıcı olma şansı ise %25'tir. MSUD olan bir aile üyesinde patojenik varyantlar tanımlanmışsa, risk altındaki akrabalar için taşıyıcı testi ve yüksek risk altındaki gebelikler için prenatal tanı yapılması mümkündür (Strauss ve ark., 2020).

Belirti ve Bulgular

MSUD hastaları tarafından sunulan başlıca klinik özellikler arasında ketoasidoz, büyüme ve gelişme geriliği, yetersiz beslenme, apne, ataksi, nöbetler, koma, psikomotor gecikme, hiperaktivite ve zihinsel gerilik görülmektedir (Muelly ve ark., 2013). MSUD'si olan 17 yetişkin (ortalama 27,5 yaş) üzerinde yapılan çalışmada 12'sinde (%70,6) klinik muayenede bir hareket bozukluğu (esas olarak titreme, distoni veya her ikisinin bir kombinasyonu) bildirilmiştir (Carecchio ve ark., 2011). Ayrıca çalışmalar MSUD nöropatolojisinde oksidatif stresin rol oynayabileceğini göstermiştir (Mescka ve ark., 2014). Lösin, izolösin ve valinin anormal birikimi, beslenme sorunları, kusma, uyuşukluk, sinirlilik ve idrarın karakteristik akçaağaç şurubu kokusu gibi çeşitli semptomlarla sonuçlanır. Dallı Zincirli Alfa-Ketoasitler (DZAA'ler) dan özellikle lösin beyin hücrelerine sitotoksiktir ve miyelinli beyaz maddeyi etkileyen sitotoksik beyin ödeminde neden olur. Artmış plazma izolösin ise idrarda karakteristik akçaağaç şurubu kokusu ile ilişkilidir. Alfa-ketoizokaproik asit ve diğer BCKA'lar, kas ve beyindeki transaminasyon reaksiyonlarına müdahale ederek toksisite gösterebilir.

Gerçekleştirilen bir olgu çalışmasında MSUD'li bebekler 5 günlük iken letarji, emme güçlüğü ve idrarında yanmış şeker kokusu gibi semptomlar tespit edilmiştir (Kale & Karaoğlu, 2017). Semptomların görülmeye başlaması, beslenmelerindeki protein miktarına bağlı olarak değişebilir. Semptomların başlamasından sonraki birkaç gün içinde tedavi edilen hastaların çoğu hayatta kalır ve herhangi bir nörolojik hasar geliştiremez (Kathait ve ark., 2018).

MSUD'nin Tipleri

MSUD klinik bulgular ve tiamine yanıt vermesi bakımından 5 ayrı tipe ayrılır.

1.1. Klasik (Neonatal) MSUD

Klasik MSUD en yaygın ve en şiddetli formudur. Bebekler doğduklarında genelde normaldir ama genellikle birkaç gün sağlıklı kalırlar. Doğduktan sonra 12-24 saat içerisinde dallı zincirli amino asitlerin (DZAA'ler; lösin, izölösün ve valin) ve alloizölösün konsantrasyonları artar ve idrarda akçaağaç şurubu kokusu tespit edilebilir. 2 ile 3 gün içerisinde metabolik zehirlenme belirtilerine ve idrarda dallı zincirli alfa-ketoasitler, asetoasetat ve beta-hidroksibutirat varlığı eşlik eder. 4 ile 6 gün içerisinde ensefalopati kötüleşir, akçaağaç şurubu kokusunun idrarda belirgin hale gelir. 7 ila 10 gün içerisinde ciddi serebral ödem, koma ve merkezi solunum yetmezliğinde şiddetli zehirlenme ortaya çıkar (Blackburn ve ark., 2017).

Klasik MSUD'ye sahip bireyler üzerinde yapılan bir çalışmada duygusal hastalık (depresyon, anksiyete ve panik bozukluğu) olasılığı %83 ile %100 arasında bulunmuştur (Muely ve ark., 2013). Yapılan bir başka çalışmaya göre 1964-2013 yılları arasında tedavi edilen yenidoğan MSUD'li hastalarda dışsallaştırma ve anksiyete bozukluğu yaygın olarak görülüp %56'sında psikolojik ve psikiyatrik bakıma ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir (Abi-Wardé ve ark., 2017).

1.2. Aralıklı (İntermittent) MSUD

MSUD'nin diğer tipleri Klasik MSUD'den daha hafiftir. Bunlardan ilki ve Klasik MSUD'den sonra en sık görülen aralıklı dallı zincirli ketoasidürüdür. Bu tipe sahip bireyler, enfeksiyon veya ameliyat gibi olayların varlığı dışında hiçbir problem yaşamayabilir. Ancak bu rahatsızlık bazı zamanlarda ölümcül olabilmektedir (Nyhan WL ve ark., 2005). Yıllar boyunca hiçbir semptomla rastlamamış hastalarda, hafif bir enfeksiyonla beraber koma, konvülsiyonlar ve ölüm gelişebilir. (Goedde HW ve ark., 1967). Aralıklı MSUD'de yaygın görülen klinik bulgular arasında; normal erken büyüme ve gelişme ve ile beraber şiddetli olabilen epizodik dekompanasyonlar görülebilir (Blackburn ve ark., 2017).

İntermittent MSUD'de biyokimyasal bulgular klasik profile benzer ve DZAA'ler normaldir. Normal BCKD aktivitesi ise %5-%20 oranındadır.

1.3. Orta Düzey (İntermediate) MSUD

Üçüncü form olan İntermediate MSUD'de hastalar genellikle zekâ geriliği ile başvurmaktadır ve diğer iki forma göre daha az rastlanır. Bu tipte görülen belirti ve bulgular arasında; akçaağaç şurubu kulak kiri kokusu, yetersiz beslenme, büyüme yetersizliği, gelişimsel gecikmeler, sinirlilik ve hastalık sırasında ensefalopati bulunmaktadır. İntermediate MSUD'de ise biyokimyasal parametreler klasik fenotipe benzer şekilde görülür ama kantitatif olarak daha az şiddetlidir ve BCKD aktivitesi %3- %30'dir (Strauss et al., 2020).

1.4. Tiamine Duyarlı MSUD

Tiamine duyarlı MSUD veya diğer adıyla tiamine duyarlı dallı zincirli oksoasidürü, başlangıçta günde 10 mg kadar az tiamine yanıt veren nispeten hafif klinik bulgulara sahip bir hastada tanımlanmıştır (Scriver CR ve ark., 1971). Bu tip hastalarda tiamin takviyesinin iyileştirdiği görülmektedir. Normal BCKD aktivitesi %2- %40 'tır ve tiamin tedavisi ile lösin

toleransının ve biyokimyasal profilin iyileştirilmesi hedeflenir (Strauss et al., 2020).

1.5. E3 Eksikliğine Bağlı MSUD

Nadir görülen bir tiptir ve E3 Eksikliğine bağlı oluşur. E3 eksikliğine bağlı MSUD hastalığı görülen bir olguda ilk hafta beslenme güçlükleri, kusma ve büyüme ve gelişme geriliği şikayetleri ile başvurmuştur (Nyhan WL ve ark., 2005).

2. Diyetsel Yaklaşım

Beslenme tedavisi, MSUD'da metabolik homeostazın yenilenmesinde ve sürdürülmesinde önemli bir rol oynar (Frazier ve ark., 2014). Beslenme yönetimi, dallı zincirli amino asitler, lösin kısıtlaması, valin ve izölösün içermeyen besinlerin tüketilmesi ve yeterli enerji, protein, vitamin ve minerallerin sağlanmasını içerir (Calcar, 1980).

MSUD'nin tedavisi 2 aşamada gerçekleşir;

2.1. Akut kriz ataklarının tedavisi

Hastalık sırasında öncelikle katabolizmayı önlemek veya tersine çevirmek için gerekli beslenme yönetimi sağlanmalı ve anabolizma teşvik edilmelidir (Frazier ve ark., 2014). Akut dönemde gerçekleştirilen tedavide metabolik homeostazın düzeltilmesi için DZAA'ler ile birlikte metabolitlerinin de dokulardan ve vücut sıvılarından uzaklaştırılması amaçlanır. Hastalık sırasında DZAA, asit-baz dengesi, idrar α -ketoasitler, kan glikozu ve klinik semptomları yakından izlenir. Plazma DZAA düzeylerini düşürmek ve toksik metabolitleri ortadan kaldırmak için diyaliz için en iyi yöntem olan periton diyalizi hemen kullanılır. Diyaliz sonrasında 24 saat içinde plazma valin, lösin ve izölösün düzeylerinde belirgin bir düşme gerçekleşir (Köksal & Gökmen, 2008; Frazier ve ark., 2014). Plazma lösin değeri yeterli düzeylere indiğinde periton diyalizi kesilir. (Aktuğlu, 2004). Hemofiltrasyon veya diyaliz varlığında, kan gazı, hematokrit, toplam protein, sodyum, kalsiyum, fosfor, üre ve kreatin düzeyleri detaylıca takip edilmelidir (Frazier ve ark., 2014).

MSUD'li hastalarda katabolik durumu düzeltmek için oral veya intravenöz yolla uygulanan beslenme tedavisinde Önerilen Günlük Alım Miktarı'nın (Recommended Daily Allowance; RDA) üzerinde protein, enerji, mineral (özellikle çinko) ve vitamin alımı sağlanmalıdır. Enerji gereksinimleri büyüme hızına göre değişiklik gösterse de MSUD'li hastaya en az 120-150 kkal/kg enerji verilmelidir. Besinlerle karşılanamayan enerji açığı, enerji içeriği yüksek mamalar (fantomalt, polycose vb) ile karşılanmalıdır. Ayrıca hastanın bol sıvı alması da önemlidir (Samour & King, 2016).

Akut tedavisine başlandığında bir DZAA içermeyen amino asit kaynağına ihtiyaç duyulur. Bir MSUD hastasının tıbbi beslenme tedavisinde DZAA içermeyen parenteral solüsyonlar mevcuttur, gastrointestinal uygulamaya tolere edilmezse nazogastrik yolla beslenme sağlanabilir (Calcar, 1980).

2.2. Uzun süreli Beslenme tedavisi

Akut kriz ataklarının düzeltilmesinden sonra DZAA'leri kısıtlamaya yönelik uzun süreli beslenme tedavisine geçilir ve bu tedavinin yaşam boyu sürdürülmesi gerekmektedir. Beslenme tedavisine erken başlanması oluşabilecek beyin hasarlarını en aza indirmeyi sağlar (Köksal & Gökmen, 2019). MSUD'li bireylerin diyetlerinde DZAA kısıtlanmasının amacı, DZAA eksikliklerini kontrol altında tutarken mümkün olduğunca

normale yakın plazma DZAA konsantrasyonları elde etmek ve korumaktır (Strauss ve ark., 2003; Strauss ve ark., 2010). Yüksek Lösin konsantrasyonları çoğunlukla anormal beyin morfolojisi ve bilişsel bozukluk ile ilişkilidir (Hoffmann ve ark., 2006). Bu sebeple olumlu bilişsel sonuçlara ulaşmak için bebekler ve 5 yaşından küçük çocuklar için 75 ile 200 µmol / L arasında ve 5 yaşından büyük bireyler için 75 ile 300 µmol / L arasında sık izleme ile plazma Lösin konsantrasyonlarını korunması tedavide önem teşkil eder. Aynı zamanda metabolik instabiliteyi ve DZAA eksikliklerini önlemek için tüm bireylerde sık izlem ile plazma İzolösün ve Valin konsantrasyonlarını 200 ila 400 µmol / L arasında tutulmalıdır. Büyüme geriliği DZAA'lerin uzun süreli eksikliğinin bir sonucudur (Strauss ve ark., 2003). Bu sebeple DZAA yetersizliğinin önlenmesi için diyetle önerilen miktarlarda eklenmelidir. Cilt lezyonlarına bağlı olarak deride pullanma ve soyulmayı önlemek için izolösün 4. günde veya daha öncesinde eklenmelidir (Samour & King, 2016).

Raporlarda, hedeflenen ve normal referans aralıklarında farklılıklar vardır. Ancak diyet müdahalesinin etkinliğini değerlendirmek, eksiklikleri veya aşırılıkları tespit etmek için sık biyokimyasal izlemenin gerekli olduğu bildirilmiştir. Bu aminoasitler dokularda sentez edilemediklerinden dolayı diyetle az miktarda bulunması gerekir. (Köksal & Gökmen, 2019).

- MSUD 1- Mix (0-6 ay)
- MSUD 1 (6 ay-2 yaş)
- MSUD 2 (2 yaş ve sonrası)

Bu tür özel karışımlar doğal besinlerle karıştırılarak uygulanmalı ve uzun süreli açlık durumlarından kaçınılmalıdır. Bebeklerin öğün sayısı günde 8-10 kere, çocukların ise 6-8 kere olmalıdır (Köksal & Gökmen, 2019). 79 hastayı inceleyen 20 yıllık bir çalışmada, dalı zincirli amino asitlerle rekabet eden yedi amino asidin (Tirozin, Triptofan Histamin, Metiyonin, Treonin, Glutamin, Fenilalanin) taşınmasını düzenlemek için bir çalışma formülü tasarlanmıştır. Formül, LAT1 amino asit substratları, glutamin, alanin, çinko, selenyum ve alfa-linolenik asit ile zenginleştirilmiştir. Bebekler, doğum ile 34 ay arasında çalışma formülü ile başlatılmıştır. Tüm çocuklar 14-33 aylık bir sürede normal olarak büyüme ve gelişme göstermiştir. Çalışma formülünün klasik MSUD tedavisinde güvenli ve etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Diyetle zenginleştirme, nörotransmitter sentezi ve metil grubu transferi için kullanılan amino asitlerin eksikliğine karşı koruduğu sonucuna varılmıştır (Strauss ve ark., 2010).

MSUD'nin 5 klinik fenotipi bulunduğundan DZAA miktarı; yaşa, cinsiyete, sağlık durumuna, genotipe ve protein alımına göre değişiklik gösterir. Intermediate veya intermittent tip MSUD hastaları, klasik MSUD hastalarına göre daha az diyet sınırlamasına gerek duymaktadır. Bununla beraber bu hastalara verilecek DZAA içermeyen aminoasit karışımlarının sürekli günlük olarak ve özellikle ateşli hastalık esnasında kullanılması, asidozisin önlenmesinde fayda sağlar. Ağır tip olan Klasik MSUD'li hastaların ciddi hastalık gelişimin önlemek için beslenme tedavisine hastalıktan ilk şüphelenildiği zaman başlanmalı ve ilk 3 gün DZAA içermeyen aminoasit karışımı verilmelidir (Samour & King, 2016).

İntermitant ve hafif MSUD tanısı konulmuş çocukların bazılarında 3 hafta yüksek doz tiamin tedavisiyle (200 mg/gün) klinik ve biyokimyasal bulgularda belirgin düzelme görülürken tiamine yanıtı MSUD'li çocuklarda idame tedavisinde tiamin desteği yanında diyet tedavisi de uygulanmalıdır (Kara, 2012).

Tablo 2. MSUD'li Kişilerde Beslenme Tedavisi ile Hedeflenen Lösin, İzolösün ve Valin Değerleri (Köksal & Gökmen, 2008)

AMİNOASİT	Hedeflenen mol/L	Normal Referans Aralığı mol/L
LÖSİN	200-700	65-220
İZOLÖSİN	100-400	26-100
VALİN	100-400	90-300

MSUD'li bireylerin günlük protein gereksinmesi DZAA içermeyen özel aminoasit karışımları ile sağlanmalıdır. Bu karışımlar;

Tablo 3. MSUD İçin Önerilen DZAA'ler, Protein, Enerji ve Sıvı Miktarları (Frazier ve ark., 2014)

Yaş	Lösin mg / kg	İzolösün mg / kg	Valin mg / kg	Protein g / kg	Enerji kcal / kg	Sıvı mL / kg
0- 6 ay	40-100	30-90	40-95	2,5-3,5	95-145	125-160
7- 12 ay	40-75	30-70	30-80	2,5-3,0	80-135	125-145
1-3 yıl	40-70	20-70	30-70	1,5-2,5	80-130	115-135
4-8 yaş	35-65	20-30	30-50	1,3-2,0	50-120	90-115
9-13 yaş	30-60	20-30	25-40	1,2-1,8	40-90	70-90
14-18 yaş	15-50	10-30	15-30	1,2-1,8	35-70	40-60
19 yaş ve üzeri	15-50	10-30	15-30	1,1-1,7	35-45	40-50

Yüksek lösin konsantrasyonları çoğunlukla anormal beyin morfolojisi ve bilişsel bozukluk ile ilişkilidir. Bu yüzden özellikle plazma lösin düzeyleri en alt düzeyde tutulmaya çalışılmalı ve aynı zamanda beslenme ile verilmesi gereken temel aminoasit lösin olmalıdır. MSUD hastası olan çocukların bağışıklık mekanizmaları zayıf olduğu için enfeksiyona yakalanmaları kolaydır. Bu dönemlerde çocuklarda lösin gereksinimleri değişebilmektedir (Köksal & Gökmen, 2019). Verilen lösin düzeylerine göre de valin ve izolösin değerleri hesaplanmalı, beslenme ile tamamlanamayan, eksik kalmış valin ve izolösin dışarıdan toz aminoasit olarak verilmelidir (Köksal & Gökmen, 2008). Plazma valin ve izolösin seviyeleri lösinine göre daha hızlı normale dönerler. Eksiklerinde oluşan bulgularının ortaya çıkmaması için valin ve izolösin normal sınırlar içine girdiklerinde diyetle eklenir (Aktuğlu, 2004). 8-10 gün içerisinde plazma lösin düzeyi normal seviyelere gelmeye başladıktan sonra, DZAA'ler doğal protein kaynaklarından özellikle tahıl ürünleri, meyveler ve sebzelerden sağlanmalıdır (Köksal & Gökmen, 2019). Lösin içermeyen formülle beslenen 15 MSUD hastası incelenmiştir. Lösin kısıtlamasıyla hastaların plazma lösin konsantrasyonları her 24 saatlik periyotta başlangıç değerinin %50 'si ile orantılı olarak düşmüştür. Bu araştırmayla MSUD hastalarının beslenme desteği ve lösin içermeyen formülle lösin seviyelerini tahmin etmeye yardımcı olması amaçlanmıştır (Scott ve ark., 2017).

3. Uygulanan Farklı Tedaviler

MSUD tedavisi için incelenen çalışmalar vardır. Bunlar arasında, norlösin, hepatosit nakli, antioksidan takviyesi, sodyum fenilbutirat ve karnitin kullanımı yer alır. Bu önerilerin nasıl etkileyeceğini gösteren sınırlı veri bulunmaktadır (Frazier ve ark., 2014). MSUD hastalarının nörolojik disfonksiyon ve bilişsel bozukluğunun incelenmesi amacıyla genç sıçanlarda gözlem yapılmıştır. Kronik DZAA uygulamasından sonra antioksidan olan N-asetil sistein (NAC) ve deferoksaminin (DFx) davranış parametreleri üzerinde inceleme gerçekleştirilmiştir. Tüm sonuçların birlikte ele alınmasıyla motor aktivite değişikliklerinin DZAA uygulamasından sonra hafıza bozukluğuna katkıda bulunmadığını, NAC ve DFx etkilerinin ise DZAA uygulamasından sonra oksidatif beyin hasarından kaynaklanabileceği gösterilmiştir (Scaini ve ark., 2012).

Nöropsikiyatrik sorunların prevalansını bildirmek ve altta yatan mekanizmaları anlamak amacıyla 37 klasik MSUD hastası (5-35 yaş, 26 diyet terapisi, 11 karaciğer nakli sonrası) incelenmiştir. Uyumlu kontrolle karşılaştırıldığında MSUD hastaları biliş, dikkat ve ruh hali bozuklukları açısından daha yüksek risk altında bulunmuştur. Kantitatif proton manyetik rezonans spektroskopisinin kullanılmasıyla MSUD hastalarında spesifik nöropsikiyatrik sonuçlarla ilişkili daha düşük beyin glutamat, N-asetilaspartat (NAA) ve kreatin konsantrasyonları bulunmuştur. Nöropsikiyatrik morbidite ve nörokimya, karaciğer nakledilen ve nakledilmeyen MSUD hastalarında benzer olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak, amino asit düzensizliğinin nakilden sonra devam eden ve nöropsikiyatrik morbiditelerle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. (Muely ve ark., 2012).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, hücresel enerji metabolizmasında merkezi işlev oynayan ve MSUD hastalarında eksikliği görülen L-Karnitin antioksidan rolünü göstermiştir.

L-Kar'in DNA hasarını koruyucu etkisine bakılmak için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada deney grubuna L-Kar

verilirken kontrol grubuna plasebo verilerek Lösin ve a-ketoizokaproik asit'in (aKIC'nin) periferik tam kan lökositlerinde DNA hasarı üzerindeki in vitro etkisine bakılmıştır. Lösin ve aKIC, deney grubunda kontrol grubundan önemli ölçüde daha yüksek bir DNA hasar indeksi ile sonuçlanmıştır ve L-Kar, bu hasarı, özellikle aKIC nedeniyle önemli ölçüde önleyebildiği bulunmuştur (Mescka ve ark., 2014).

Pediyatrik yoğun bakım bölümünde olan hastalar üzerindeki yapılan bir çalışmada Lösin seviyeleri 930-4400 µmol / L arasında olan 4 hastada MSUD tanısı konulmuştur. Hızları 4120 ml / sa / 1.73 m2 ile 9830 ml / sa / 1.73 m2 arasında olan yüksek akışlı renal replasman tedavisi yöntemi ile başarılı bir şekilde tedavi edilmiştir. Bu çalışmayla renal replasman tedavisinin MSUD'un metabolik krizinde bir tedavi seçeneği olduğu ve akut metabolik dekompanseasyonunun tedavisinde başarılı olduğu sonucuna varılmıştır (Aygün ve ark., 2019).

3.1. Karaciğer Transplantasyonu

MSUD hastaları, DZAA'lerin nörotoksik metabolitlerinin birikmesinden yakınmaktadır. Amino asit bozulmasındaki bu kusur, metabolik krizlere, nörolojik hasara ve hatta ölüme neden olabilir. Standart tedavi, ömür boyu protein kısıtlaması ve disiplin gerektiren bir diyetten oluşur (Fabre ve ark., 2013; Zeltner ve ark., 2014; Herden ve ark., 2019). Raporlar diyetle sıkı sıkıya bağlı olan hastalarda bile enfeksiyon veya stres nedeniyle yaşamı tehdit eden krizlerin meydana gelebileceğini söylemektedir (Lee ve ark., 2008). Bu nedenle Karaciğer nakli, MSUD hastaları için hastalık veya diğer katabolik stres varlığında yüksek lösin konsantrasyonları ile ilişkili serebral ödem epizodlarını önlemek için yaygın bir tedavi seçeneği haline gelmiştir (Díaz ve ark., 2014). Bağışlanan bir karaciğer, normal bir diyet için yeterli olan BCKAD aktivitesinin %9-13'ünü sağlar (Mazariegos ve ark., 2012). BCKAD aktivitesi karaciğerde bulunmakla birlikte kas, kalp, böbrek, beyin ve diğer dokularda da bulunmaktadır. Bu yüzden, MSUD'li bir hastadan alınan bir karaciğer başka bir hastaya transfer edilebilir (domino karaciğer nakli). MSUD karaciğeri alıcısı valin, izolösin ve lösin metabolize etmek için diğer dokulardan BCKAD kullanır (Khanna ve ark., 2006).

Genel olarak, MSUD'li bireylerde karaciğer transplantasyonunu takiben sonuçlar iyi olmuştur. Yapılan bir çalışmaya göre Karaciğer nakli yapılan MSUD'li 54 hastada genel sağkalım yüzdesi %98-100 oranında bulunmuştur (Mazariegos ve ark., 2012). Transplantasyondan sonra hastalar normal diyetleri tolere eder ve plazma DZAA konsantrasyonlarına stabildir (Díaz ve ark., 2014). Diğer bir çalışmaya göre, MSUD hastalarında karaciğer transplantasyonu yapılan çocuklarda endikasyonları, klinik ve nörolojik durumu değerlendirmek amacıyla 1991-2010 yılları arasında MSUD için 8 karaciğer nakilli hasta incelenmiştir. Transplantasyon sonrası ortalama takip süresi 12,2 yıl idi. Ayrıca transplantasyondan sonra, hastalardan hiçbirinin son 3 yıl içinde hastaneye yatmadığı ve normal diyet sonrası yeni akut metabolik dekompanseasyon olmadığını bulmuşlardır. 5'i normal okul eğitimini izledi, 2'sinde motor engelli, 2'sinde konvülsif nöbet vardı. Ortalama lösin seviyeleri, hemen nakil sonrası dönemde <350 µmol / L idi, maksimum alloizolösin seviyesi ise ortalama 20 µmol / L idi. Bu çalışma ile karaciğer naklinin beyin hasarını durduran klasik MSUD için etkili bir tedavi olduğuna varılmıştır (Díaz ve ark., 2014).

4. Sonuç

Otozomal resesif geçişli kalıtsal bir hastalık olan Akçaağaç şurubu idrar kokusu hastalığı BCKAD enziminin aktivitesindeki bozukluk sonucu oluşmaktadır. MSUD hastalığına sahip çocuklar tanı konduğu andan itibaren ömür boyu beslenme tedavisine uyum sağlamaları gerekir.

Çalışmanın sonucuna göre ömür boyu uygulanan beslenme tedavisinde valin, lösin, izölösün dallı zincirli amino asitlerinin nörolojik gelişim açısından kısıtlanması gerektiği ancak endojen olarak sentezlenemediğinden aşırı kısıtlanmasının da zayıf büyüme gibi komplikasyonları geliştirebildiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre dallı zincirli amino asitlerin hedeflenen referans aralıkları içerisinde verilmesi gerekmektedir.

Ayrıca MSUD hastalarının katobolik sürece girmemeleri için enerji gereksinimleri RDA'nın üzerinde ve en az 120-150 kcal/kg olması gerekir. Enerji gereksiniminin karşılanmaması ile beraber protein, vitamin, mineral açısından eksik kalınması sonucunda çocuklarda deri lezyonları, sık enfeksiyonlar, büyüme ve gelişme geriliği görülür.

MSUD'li bireylerin günlük protein gereksinmesi DZAA içermeyen özel aminoasit karışımları ve doğal besinler ile sağlanmalıdır. Doğal protein kaynaklarından sağlanan DZAA'ler özellikle tahıl ürünleri, meyveler ve sebzelere alınmalıdır. Bu derlemede, MSUD'li hastalarda uygulanan beslenme tedavisinin güncel yaklaşımları ele alınarak, erken teşhis ve doğru beslenme tedavisiyle çocuklarda zihinsel hasarın önlenmesi ve büyüme, gelişme geriliği gibi diğer hayati hastalıkların önüne geçilmesinin üzerinde durulmuştur. Protein metabolizma hastalığı olan MSUD üzerine yapılmış çalışmalar kısıtlıdır ve bu derleme okuyuculara bir yol gösterici olabilmek üzere sunulmuştur.

Kaynakça

- [1] Abi-Wardé, M. T., Roda, C., Arnoux, J. B., Servais, A., Habarou, F., Brassier, A., Pontoizeau, C., Barbier, V., Bayart, M., Leboeuf, V., Chadeaux-Vekemans, B., Dubois, S., Assoun, M., Belloche, C., Alili, J. M., Husson, M. C., Lesage, F., Dupic, L., Theuil, B., Ottolenghi, C., ... de Lonlay, P. (2017). Long-term metabolic follow-up and clinical outcome of 35 patients with maple syrup urine disease. *Journal of inherited metabolic disease*, 40(6), 783–792. <https://doi.org/10.1007/s10545-017-0083-x>
- [2] Aktuğlu Zeybek Ç. (2004). Doğumsal Metabolik Hastalıklarda Beslenme. Sağlıkta ve Hastalıkta Beslenme Sempozyum Dizisi No: 41 – Kasım 2004; s.217-232.
- [3] Altuntaş, V, Gök, M. (2020). Protein – Protein Etkileşimi Tespit Yöntemleri, Veri Tabanları ve Veri Güvenilirliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 722-733 . DOI: 10.31590/ejosat.724390
- [4] Aygün, F., Kıyıkım, E., Aktuğlu-Zeybek, Ç., Zubarioğlu, T., & Cam, H. (2019). Treatment of maple syrup urine disease with high flow hemodialysis in a neonate. *The Turkish journal of pediatrics*, 61(1), 107–110. <https://doi.org/10.24953/turkjped.2019.01.017>
- [5] Blackburn, P. R., Gass, J. M., Vairo, F., Farnham, K. M., Atwal, H. K., Macklin, S., Klee, E. W., & Atwal, P. S. (2017). Maple syrup urine disease: mechanisms and management. *The application of clinical genetics*, 10, 57–66. <https://doi.org/10.2147/TACG.S125962>

- [6] Carecchio, M., Schneider, S. A., Chan, H., Lachmann, R., Lee, P. J., Murphy, E., & Bhatia, K. P. (2011). Movement disorders in adult surviving patients with maple syrup urine disease. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 26(7), 1324–1328. <https://doi.org/10.1002/mds.23629>
- [7] Calcar S.V (2015). Nutrition Management of Maple Syrup Urine Disease. *Nutrition Management of Inherited Metabolic Diseases*, 173–183. doi:10.1007/978-3-319-14621-8_16
- [8] Chapman KA. (2014) Systemic organic acidemias: Identification, diagnosis, management and long term complications. *J Pediatr Biochem*. 2014;4(4):193–200.
- [9] Demir M. K, Canda E, Kağncı M, Atik Y. A, Kalkan S. U, Habif S, Onay H, Çoker M (2016). Dallı Zincirli Aminoasidopati Sonucu Gelişen Organik Asidemiler: Ege Tıp Deneyimi. *The Journal of Pediatric Research*, 3(2), 76 - 81.
- [10] Díaz, V. M., Camarena, C., de la Vega, Á., Martínez-Pardo, M., Díaz, C., López, M., Hernández, F., Andrés, A., & Jara, P. (2014). Liver transplantation for classical maple syrup urine disease: long-term follow-up. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, 59(5), 636–639. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000000469>
- [11] Fabre, A., Baumstarck, K., Cano, A., Loundou, A., Berbis, J., Chabrol, B., & Auquier, P. (2013). Assessment of quality of life of the children and parents affected by inborn errors of metabolism with restricted diet: preliminary results of a cross-sectional study. *Health and quality of life outcomes*, 11, 158. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-11-158>
- [12] Frazier, D. M., Allgeier, C., Homer, C., Marriage, B. J., Ogata, B., Rohr, F., Splett, P. L., Stenbridge, A., & Singh, R. H. (2014). Nutrition management guideline for maple syrup urine disease: an evidence- and consensus-based approach. *Molecular genetics and metabolism*, 112(3), 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2014.05.006>
- [13] Goedde, H. W., Langenbeck, U., Brackertz, D., Keller, W., Rokkones, T., Halvorsen, S., Kiil, R., & Merton, B. (1970). Clinical and biochemical-genetic aspects of intermittent branched-chain ketoaciduria. Report of two Scandinavian families. *Acta paediatrica Scandinavica*, 59(1), 83–87. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1970.tb15519.x>
- [14] Herden, U., Grabhorn, E., Santer, R., Li, J., Nadalin, S., Rogiers, X., Scherer, M. N., Braun, F., Beime, J., Lenhartz, H., Muntau, A. C., & Fischer, L. (2019). Surgical Aspects of Liver Transplantation and Domino Liver Transplantation in Maple Syrup Urine Disease: Analysis of 15 Donor-Recipient Pairs. *Liver transplantation : official publication of the American Association for the Study of Liver Diseases and the International Liver Transplantation Society*, 25(6), 889–900. <https://doi.org/10.1002/lt.25423>
- [15] Hoffmann, B., Helbling, C., Schadewaldt, P., & Wendel, U. (2006). Impact of longitudinal plasma leucine levels on the intellectual outcome in patients with classic MSUD. *Pediatric research*, 59(1), 17–20. <https://doi.org/10.1203/01.pdr.0000190571.60385.34>
- [16] Kale, Y , Karaoğlu, E . (2017). Kraniyal görüntüleme bulguları ile akçaağaç şurubu idrar hastalığı . *Ege Tıp Dergisi* , 56 (2) , 99-101 . DOI: 10.19161/etd.344253
- [17] Kara A. (2012) Pediatrik Metabolizma Hastalıkları ve Beslenme Polikliniğinde Tanı Alan veya Takibe Giren Kalıtsal Metabolik Hastalığı Olan Hastaların Tanılarının, Klinik ve Laboratuvar Bulgularının Analizi ile Takip Sonuçlarının Değerlendirilmesi Uzmanlık Tezi- Adana.

- [18] Karahan, M. A., Sert, H., Havlioglu, İ., & Yüce, H. H. (2014). The Anaesthetic Management of a Patient with Maple Syrup Urine Disease. *Turkish journal of anaesthesiology and reanimation*, 42(6), 355–357. <https://doi.org/10.5152/TJAR.2014.07830>
- [19] Kathait, A. S., Puac, P., & Castillo, M. (2018). Imaging Findings in Maple Syrup Urine Disease: A Case Report. *Journal of pediatric neurosciences*, 13(1), 103–105. https://doi.org/10.4103/JPN.JPN_38_17
- [20] Khanna, A., Hart, M., Nyhan, W. L., Hassanein, T., Panyard-Davis, J., & Barshop, B. A. (2006). Domino liver transplantation in maple syrup urine disease. *Liver transplantation : official publication of the American Association for the Study of Liver Diseases and the International Liver Transplantation Society*, 12(5), 876–882. <https://doi.org/10.1002/lt.20744>
- [21] Koç, İ., & Eryurt, M. A. (2017). The Causal Relationship Between Consanguineous Marriages And Infant Mortality In Turkey. *Journal Of Biosocial Science*, 49(4), 536–555. <https://doi.org/10.1017/S002193201600033X>
- [22] Köksal G, Gökmen H. (2019) Çocuk Hastalıklarında Beslenme Tedavisi. Hatipoğlu Yayınları:124. Sertifika No:13777. Sayfa numarası: 446-450.
- [23] Köksal G, Gökmen Özel H. (2008) Metabolik Hastalıklarda Beslenme. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 728. ISBN : 978-975-590-244-9. 2008-ANKARA.
- [24] Köseoğlu, S . (2019). Bazı Tahıl Ürünlerinin Protein Kalite İndeksinin Protein Sindirilebilirliği – Düzeltilmiş Amino Asit Skoru (PDCAAS) Metodu ile Belirlenmesi. . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (17) , 477-482 . DOI: 10.31590/ejosat.633638
- [25] Köseoğlu, S . (2020). Besin İntoleransı ve Tamı Testleri . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (18) , 616-620 . DOI: 10.31590/ejosat.679424
- [26] Lee, J. Y., Chiong, M. A., Estrada, S. C., Cutiongeo-De la Paz, E. M., Silao, C. L., & Padilla, C. D. (2008). Maple syrup urine disease (MSUD)--clinical profile of 47 Filipino patients. *Journal of inherited metabolic disease*, 31 Suppl 2, S281–S285. <https://doi.org/10.1007/s10545-008-0859-0>
- [27] Mazariegos, G. V., Morton, D. H., Sindhi, R., Soltys, K., Nayyar, N., Bond, G., Shellmer, D., Shneider, B., Vockley, J., & Strauss, K. A. (2012). Liver transplantation for classical maple syrup urine disease: long-term follow-up in 37 patients and comparative United Network for Organ Sharing experience. *The Journal of pediatrics*, 160(1), 116–21.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.06.033>
- [28] Mescka, C. P., Wayhs, C. A., Guerreiro, G., Manfredini, V., Dutra-Filho, C. S., & Vargas, C. R. (2014). Prevention of DNA damage by L-carnitine induced by metabolites accumulated in maple syrup urine disease in human peripheral leukocytes in vitro. *Gene*, 548(2), 294–298. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2014.07.051>
- [29] Muelly, E. R., Moore, G. J., Bunce, S. C., Mack, J., Bigler, D. C., Morton, D. H., & Strauss, K. A. (2013). Biochemical correlates of neuropsychiatric illness in maple syrup urine disease. *The Journal of clinical investigation*, 123(4), 1809–1820. <https://doi.org/10.1172/JCI67217>
- [30] Malbon K. (2006). Atlas of metabolic diseases, 2nd edition. *Archives of Disease in Childhood*, 91(2), 203. <https://doi.org/10.1136/adc.2005.087619>
- [31] Samour PQ, King K. (2016) Pediatrik Beslenme Esasları. Essentials of Pediatric Nutrition. Yayın no:1585. Sayfa Numarası:123-132.
- [32] Scaini, G., Jeremias, I. C., Morais, M. O., Borges, G. D., Munhoz, B. P., Leffa, D. D., Andrade, V. M., Schuck, P. F., Ferreira, G. C., & Streck, E. L. (2012). DNA damage in an animal model of maple syrup urine disease. *Molecular genetics and metabolism*, 106(2), 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2012.04.009>
- [33] Scott, A. I., Cusmano-Ozog, K., Enns, G. M., & Cowan, T. M. (2017). Correction of hyperleucinemia in MSUD patients on leucine-free dietary therapy. *Molecular genetics and metabolism*, 122(4), 156–159. <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2017.09.012>
- [34] Scriver, C. R., Mackenzie, S., Clow, C. L., & Delvin, E. (1971). Thiamine-responsive maple-syrup-urine disease. *Lancet (London, England)*, 1(7694), 310–312. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(71\)91041-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(71)91041-5)
- [35] Strauss, K. A., & Morton, D. H. (2003). Branched-chain Ketoacyl Dehydrogenase Deficiency: Maple Syrup Urine Disease. *Current treatment options in neurology*, 5(4), 329–341. <https://doi.org/10.1007/s11940-003-0039-3>
- [36] Strauss, K. A., Carson, V. J., Soltys, K., Young, M. E., Bowser, L. E., Puffenberger, E. G., Brigatti, K. W., Williams, K. B., Robinson, D. L., Hendrickson, C., Beiler, K., Taylor, C. M., Haas-Givler, B., Chopko, S., Hailey, J., Muelly, E. R., Shellmer, D. A., Radcliff, Z., Rodrigues, A., Loeven, K., ... Morton, D. H. (2020). Branched-chain α -ketoacid dehydrogenase deficiency (maple syrup urine disease): Treatment, biomarkers, and outcomes. *Molecular genetics and metabolism*, 129(3), 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2020.01.006>
- [37] Strauss, K. A., Puffenberger, E. G., & Carson, V. J. (2006). Maple Syrup Urine Disease. In M. P. Adam (Eds.) et. al., *GeneReviews*®. University of Washington, Seattle.
- [38] Strauss, K. A., Wardley, B., Robinson, D., Hendrickson, C., Rider, N. L., Puffenberger, E. G., Shellmer, D., Moser, A. B., & Morton, D. H. (2010). Classical maple syrup urine disease and brain development: principles of management and formula design. *Molecular genetics and metabolism*, 99(4), 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2009.12.007>
- [39] Tanacan, A., Gurbuz, B. B., Aydin, E., Erden, M., Coskun, T., & Beksac, M. S. (2019). Prenatal Diagnosis of Organic Acidemias at a Tertiary Center. *Balkan journal of medical genetics* : *BJMG*, 22(1), 29–34. <https://doi.org/10.2478/bjmg-2019-0003>
- [40] Zeltner, N. A., Huemer, M., Baumgartner, M. R., & Landolt, M. A. (2014). Quality of life, psychological adjustment, and adaptive functioning of patients with intoxication-type inborn errors of metabolism - a systematic review. *Orphanet journal of rare diseases*, 9, 159. <https://doi.org/10.1186/s13023-014-0159-8>



Determination of Volatile Components of *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* Naturally Distributed in Two Different Regions

Ebru Hatice Tıgılı Kaytanlıoğlu^{1*}, Sevgin Özderin², Hüseyin Fakir³, Emre Gümüşay⁴

^{1*} Isparta Applied Sciences of University, Faculty of Forest, Department of Forest Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9165-6675), ebrukaytanlioglu@isparta.edu.tr

² Muğla Sıtkı Koçman University, Köyceğiz Vocational High School, Department of Forestry, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4511-5229), sevginozderin@mu.edu.tr

³ Isparta Applied Sciences of University, Faculty of Forest, Department of Forest Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6606-8011), huseyinfakir@isparta.edu.tr

⁴ Isparta Applied Sciences of University, Faculty of Forest, Department of Forest Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6108-5373), gumus_emre_01@hotmail.com

(First received 27 February 2021 and in final form 27 June 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.887605)

ATIF/REFERENCE: Tıgılı Kaytanlıoğlu, E.H., Özderin, S., Fakir, H. & Gümüşay, E. (2021). Determination of Volatile Components of *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* Naturally Distributed in Two Different Regions. *European Journal of Science and Technology*, (25), 152-158.

Abstract

The aim of this study was to determine the volatile components of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench subsp. *aucheri* that belongs to the *Helichrysum* genus, belonging to the Asteraceae family, one of the important families for Turkey and generally known as 'ölmez çiçek, altın otu or mantuvar' in Turkey. To determine volatile components, leaves and flowers of *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* specimens were collected from Isparta Aksu and Adana Feke villages in Turkey, and dried at room temperature. Then, volatile components were determined with HS-SPME/GC-MS analysis. As a result of the findings obtained, a total of 86 volatile components were found for *Helichrysum* species. A total of 64 volatile components were determined for *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* specimens collected from Isparta Aksu region, whereas the main components were found as trans-Caryophyllene (24.33%), α -humulene (16.14%), α -pinene (14.79%); and dl-limonene (11.98%), respectively; and a total of 87 volatile components for specimens collected from Adana Feke region, whereas the main components were found as trans-caryophyllene (24.57%), α -pinene (22.5%), β -pinene (8.98%), limonene (8.21%), respectively.

Keywords: *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri*, volatile components, HS-SPME/GC-MS, α -pinene, trans-caryophyllene, Türkiye

İki Farklı Yörede Doğal Yayılış Gösteren Yayla Çiçeği (*Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri*)'nin Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi

Öz

Bu çalışmada ülkemiz için önemli familyalarından olan Asteraceae familyasına ait Türkiye'de yaygın olarak 'ölmez çiçek, altın otu veya mantuvar' olarak bilinen *Helichrysum* cinsine ait *Helichrysum arenarium* (L.) Moench subsp. *aucheri*'nin uçucu bileşenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Isparta Aksu ve Adana Feke Köyü mevkiilerinden doğal olarak yayılış gösteren *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* örnekleri uçucu bileşenleri belirlemek amacıyla yaprak ve çiçekleri toplanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Daha sonra HS-SPME/GC-MS analizi ile uçucu bileşenleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda altın otu türüne ait toplam 86 adet uçucu bileşen belirlenmiştir. Isparta Aksu mevkiinden toplanan *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* 'da 64 uçucu bileşen, bu bileşenler içerisinde temel bileşenler; trans-caryophyllene %24.33, α -humulene % 16.14, α -pinene %14.79; dl-limonene (% 11.98); Adana Feke Köyü mevki örneklerinde 87 uçucu bileşen, bu bileşenler içerisinde temel bileşenler; trans-caryophyllene (%24.57), α -pinen(22.5), β -pinen (% 8.98), limonene (%8.21) bileşenleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri*, uçucu bileşen, HS-SPME/GC-MS, α -Pinene, trans-Caryophyllene, Türkiye.

1. Introduction

Thanks to its geographical location, climate and plant diversity, agricultural potential, and wide area, Turkey is one of the leading countries in the trade of medicinal and aromatic plants, because of its geographical location. This importance of Turkey stems from the fact that plants that produce many herbal products constituting the input of herbal medicine, plant chemicals, food and additive agents, and cosmetics and perfume industries present in the natural flora of Turkey. Therefore, these plants are being marketed with the collection from the wild (Bayram et al., 2010). Medicinal and aromatic plants have been used in health promotion and disease prevention. By observing the protection methods developed by the defense mechanisms of plants by secreting active substances such as various enzymes, essential fatty acids, and phenolic substances, it was identified with the trial-and-error method that these have been good for the treatment of a number of ailments in humans (Kayaalp, 2001). Growing production and marketing of natural health-promotion and personal care products has also created an increasing industrial demand for medicinal and aromatic plants as well (Igwillio, 2019). Medicinal and aromatic plants contain bioactive secondary metabolites like steroids, flavonoids, saponins, alkaloids, terpenes, and phenolic compounds. These secondary metabolites possess antimicrobial, antifungal, antiallergic, antidiabetic, cardioprotective, antioxidant, anticancer, antithyroid, antihistaminic, antimalarial, anthelmintic, anti-inflammatory, antihypertensive, antispasmodic, and analgesic properties (Aftab, 2019). Medicinal and aromatic plants can be found in fresh, frozen, or dry forms. These plants are preferred in the pharmaceutical industry because of their therapeutic effects. Fixed oils (or fats, fatty acids that plants have (might be added) and essential oils extracted from plants are used in soft drinks and candies within food industry and in perfumes, skin care and hair care products and aromatherapy within cosmetic industry (Van Vuuren et al., 2010, Christaki, 2012). Since they are complex mixtures, effectiveness of essential oils varies depending on the amount and type of substances they contain (Bayaz, 2014).

The fact that almost 5.000 of the 7.000 chemical compounds, of which have been isolated and identified from plants thus far, were extracted from the members of this family is an indicator of how rich they are in chemical terms (Zeybek and Zeybek, 2002). The genus *Helichrysum* consists of an estimated 600 species all around the world, and is widely distributed in South Africa (250 species), Southern Europe, Southern-Western Asia, Southern India, Sri Lanka, Australia, and the Mediterranean basin (Anderberg, 1991). This genus is represented by 27 taxa, 15 of which are endemic in Turkish flora (Davis, et al., 1988; Güner et al., 2000; Sümbül, et al., 2003). *Helichrysum* species are grown in every region of Turkey and is supplied fresh in every season as it is not affected by the climate conditions. Hel species have been used as Daily herbal tea in Turkey, since they have bile and diuretic effects. (Şen and Kalaycı, 2016).

Heli species, growing in Corsica, France, is one of the most preferred species in perfumery and cosmetics industry around the World. (Bianchini et al., 2001). The economically used part of the *Helichrysum* species is its flowers. The main active substance of yellow flowers of *Helichrysum* species is the yellowish-colored essential oils in glandular hairs (Licina and

Kralj, 2016). Despite its floral scent, it can be used as a base note in perfume blends thanks to its strength and color (Lawless, 2002). *Helichrysum* species are reported to have a high degree of polymorphism (Peyron and Roubaud, 1971). Previous studies have reported that some of them show significant pharmacological properties and find wide use in perfumery (Bianchini et al., 2001). It was identified that *Helichrysum* volatile components show anti-inflammatory (Sala et al., 2002; Appendino et al., 2007), antimicrobial (Roussis et al., 1998; Nostro et al., 2001; Angioni et al., 2003), and antioxidant (Sala et al., 2002) activities. *Helichrysum* volatile components reportedly have anti-inflammatory, analgesic, cell regenerative, pain reducing, and sedative effects and it relieves stress. By reason of the fact that “anti-aging skincare” comes to mind when it comes to cell regeneration recently; *Helichrysum* volatile components are dermatologically applied against cracked skins, hemorrhoids, acne scars, surgical scars, and wounds, and can be in-depth effective even with a small content of dilutions (Harris and Harris, 2002; Haas, 2004; Schnaubelt, 2011). *Helichrysum* volatile components have been reported to be of great value as a cell regenerative and decongestant thanks to the fact that neryl acetate, one of the components in essential oil, has a very high antiradical activity and increases collagen type I production about 6 times (Millou et al., 2010). As they can aid the renewal of skin cells, they are used in skincare products and called “liquid stitches” (Price and Price, 2012). Additionally, studies suggest that *Helichrysum* volatile components prevent blood clot formation and accumulation (Marković, 2005; Battaglia, 2003; Gattefossé, 1993) and have mucolytic, anti-spasmodic, and expectorant effects, which are helpful for coughs, bronchitis, and sinusitis (Battaglia, 2003; Lawless, 2002; Poštić, 2013). Besides, it is reported that *Helichrysum* volatile components, together with chamomile (*Chamaemelum nobile*) and yarrow (*Achillea millefolium*), are used to reduce fever and has an anti-inflammatory effect (Mojay, 1996). It is reported that *Helichrysum* hydrosol, which is obtained by steam distillation, can help to relieve painful menstrual cramps, cleanse the liver from toxins, and combat gingivitis, as a mouthwash (Catty, 2001).

SPME (solid-based micro-extraction method) saves processing time and costs as it is a method that combines sample preparation, extraction and concentration stages in a single solvent-free stage. However, positive developments were observed in the sample preparation phase and results. The type and thickness of the material covering the fiber part in the syringe affects the effectiveness of the SPME method. The fact that SPME method can be performed in a short time such as 1-30 minutes reveals its advantage over other methods (Vas & Vekey, 2004; Araujo et al., 2007; Dönmez & Salman, 2017).

The aim of this study was to determine volatile components that were extracted from *Helichrysum arenarium* (L.) Moench subsp. *aucherii* (Boiss.) P.H. Davis & Kupicha, using solid-phase microextraction (SPME, Supelco, Germany) procedure.

2. Material and Method

2.1. Material

Helichrysum arenarium subsp. *aucherii* specimens, the research material, were collected from the research area in Aksu (1970m) 37°47'59" kuzey-31°03'59" doğu (Isparta province) and Feke (1160m) 37°48'46" kuzey-35°54'44" doğu (Adana province) counties in Turkey within the vegetation period.

Helichrysum arenarium subsp. *aucheri* species constitute samples of leaves and flowers. The plant was diagnosed by us using the discrimination key in "Flora of Turkey" (Davis, 1982).

The voucher specimens were placed in sample bags and the bags were labeled after coding, and collection data (collection time, place, and elevation) were marked on the label. The plant samples were kept at room temperature in a semi-dark and airy place, to use in the analysis of volatile components. After the specimens were dried, they were brought to the Laboratory of the Department of Forest Botany, Faculty of Forestry, Isparta University of Applied Sciences. The plant samples were identified in the Herbarium at S. Demirel University, Faculty of Arts and Science, Department of Biology. The identified voucher specimens were deposited in the Herbarium at Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry.

2.2. Determination of leaf and flower volatile components with HS-SPME/GC-MS analysis

In this study, leaf and flower samples were collected from the area where *Helichrysum* species grow, within the vegetation period. The collected leaf and flower samples were placed in bags and brought to the Laboratory of the Department of Forest Botany, Faculty of Forestry, Isparta University of Applied

3. Results

In this study, volatile components of *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* specimens were determined with SPME (Solid-Phase Microextraction) analysis. The volatile components determined were given in Table 1.

As a result of SPME analyses, a total of 64 volatile components were determined for *Helichrysum arenarium* subsp.

Sciences within the same day, without any delay and exposure to sunlight. The voucher specimens were dried at room temperature (25°C) to constant weight.

Floral scent components of flowers and leaves were combined with Gas Chromatography/ Mass Spectrometric (GC-MS) and determined with Headspace Solid-Phase Microextraction (HS-SPME) procedure. Based on solid-phase microextraction (SPME, Supelco, Germany) procedure, 2 g of flower and leaf specimens were placed into a 10 mL vial and heated to 60°C for 30 minutes. After that, volatile components were absorbed from headspace using a 75 µm-thick Carboxen/Polydimethylsiloxane (CAR/PDMS) coated fused silica fiber and injected into capillary column (Restek Rx-5 Sil MS 30 m x 0.25 mm, 0.25 µm) of HS-SPME-compatible GC-MS (Shimadzu 2010 PLUS) instrument. The oven temperature was set to keep at 40°C for 2 minutes and to reach 250°C with a 4°C increase per minute. Injection and detection temperatures were set at 250°C. EI (70 eV) was used as an ionization mode and Helium (1.61 mL per minute) was used as carrier gas. Wiley, NIST Tutor, and FFNSC libraries were used to identify volatile components. LRI (Linear Retention Indices) values were calculated by using a series of the standards of C7-C30 saturated n-alkanes (Sigma-Aldrich Chemical Co., USA).

aucheri specimens collected from Isparta Aksu area, whereas the main components were found as trans-Caryophyllene (24.33%), α -Humulene (16.14%), α -Pinene (14.79%); and dl-Limonene (11.98%), respectively. Similarly, a total of 86 volatile components were determined for *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* specimens collected from Adana Feke village, whereas the main components were found as trans-Caryophyllene (24.57%), α -Pinene (22.5%), β -Pinene (8.98%), Limonene (8.18%), respectively.

Table 1. Volatile components of *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri*

R.T.	Components	Flowering (Adana)	Flowering (Isparta)	Formula	Category
4.656	Hexanal	-	1.62	C ₆ H ₁₂ O	AA
6.144	2-Hexenal	-	1.23	C ₆ H ₁₀ O	AA
6.228	7-Methyl-1-Octene	-	0.98	C ₉ H ₁₈	OC
6.341	Ethyl-Benzene	-	0.12	C ₈ H ₁₀	AH
6.630	1,2-Dimethyl-Benzene	-	0.16	C ₈ H ₁₀ O ₂	AH
6.671	1,4-Dimethyl-Benzene	-	0.08	C ₈ H ₁₀ O ₂	AH
7.332	Styrene	-	0.37	C ₈ H ₈	OC
7.400	1-Nonanol	-	0.38	C ₉ H ₂₀ O	OC
7.754	Heptanal	-	0.09	C ₇ H ₁₄ O	AA
7.804	Bornylene	-	0.09	C ₁₀ H ₁₆	MH
8.410	Tricyclo heptane	-	0.02	C ₇ H ₁₀	AH
8.426	Tricyclene	0.05	-	C ₁₀ H ₁₆	MH
8.755	3-Heptanone	-	0.03	C ₇ H ₁₄ O	MH
8.911	α -Pinene	22.15	14.79	C ₁₀ H ₁₆	MH
9.361	α -Fenchene	-	0.54	C ₁₀ H ₁₆	MH
9.369	2,2-Dimethyl-3-Methylene	0.23	-	C ₁₁ H ₂₂	MH
9.421	Camphene	0.95	0.75	C ₁₁ H ₂₂	MH
9.739	4-Undecene	0.25	0.34	C ₁₁ H ₂₂	AH
9.859	Benzaldehyde	0.21	0.29	C ₇ H ₆ O	AAI
9.950	Cyclopropane	0.22	0.16	C ₃ H ₆	SH
10.094	2-Hexenoic Acid	0.04	-	C ₇ H ₁₂ O ₂	FA
10.235	Cymene	0.03	-	C ₁₀ H ₁₄	MH
10.502	2- β -Pinene	8.98	6.38	C ₁₀ H ₁₆	MH
10.680	1-Octen-3-Ol	0.08	0.04	C ₈ H ₁₆ O	AAI
10.839	6-Methyl-5-Hepten-2-One	0.07	0.40	C ₈ H ₁₄ O	AAI
11.004	β -Myrcene	0.87	4.83	C ₁₀ H ₁₆	SH

11.080	Benzoic Acid 1-Methyl-Heptyl Ester	-	0.10	C ₁₅ H ₂₀ O ₂	AAI
11.090	1-Decene	0.13	-	C ₁₀ H ₂₀	MH
11.288	Methyl 12-Methyltetradecanoate	0.13	-	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	OC
11.289	Methyl Isohexanoate	-	0.15	C ₇ H ₁₄ O ₂	AAI
11.350	Trans-2-Furan	0.02	0.05	C ₉ H ₁₂ O	OC
11.530	Octanal	0.02	0.13	C ₈ H ₁₆ O	AA
11.588	L-Phellandrene	0.23	0.21	C ₁₀ H ₁₆	MH
11.678	Linalyl Acetate	-	0.14	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	OM
11.685	Δ-3-Carene	0.17	-	C ₁₀ H ₁₆	MH
11.851	1,4-Dichlorobenzene	0.23	0.18	C ₁₀ H ₁₂	AH
12.011	α-Terpinene	0.62	0.70	C ₁₀ H ₁₆	MH
12.297	1-Methyl-4 benzene	-	1.79	C ₁₀ H ₁₂	MH
12.302	Methyl -benzene	0.60	-	C ₁₀ H ₁₄	AH
12.503	dl-Limonene	-	11.98	C ₁₀ H ₁₆	MH
12.523	Limonene	8.21	-	C ₁₀ H ₁₆	MH
12.608	1,8-Cineole	0.18	1.27	C ₁₀ H ₁₈ O	MH
12.803	Cis-OCimene	0.79	0.04	C ₁₀ H ₁₆	MH
12.895	Oct-3(E)-En-2-One	0.01	-	C ₈ H ₁₄ O	AAI
13.008	Benzene acetaldehyde	0.06	0.08	C ₈ H ₈ O	AAI
13.206	1,3,6-Octatriene	1.14	0.10	C ₈ H ₁₂	AH
13.381	2-Isopropenyl-5-Methylhex-4-Enal	0.01	-	C ₁₀ H ₁₈ O	AAI
13.626	1,4-Cyclohexadiene	0.97	0.87	C ₁₀ H ₁₆	MH
14.087	3,5-Octadien-2-One	0.06	0.05	C ₈ H ₁₂ O	AAI
14.490	Ethyl Benzene	0.02	-	C ₈ H ₁₀	AH
14.684	α-Terpinolene	1.06	0.60	C ₁₀ H ₁₆	MH
14.844	1-Methyl-4-Isopropenylbenzene	-	0.25	C ₁₀ H ₁₂	MH
14.846	1-Isopropenylbenzene	0.16	-	C ₁₂ H ₁₆	AH
14.981	Cyclopropane	0.13	-	C ₃ H ₆	AH
15.285	Linalool	0.04	-	C ₁₀ H ₁₈ O	OM
15.461	Nonanal	0.08	0.45	C ₉ H ₁₈ O	AAI
15.807	Neryl Nitrile	-	0.05	C ₁₀ H ₁₅ N	OC
15.809	Cyclohexane	0.04	-	C ₆ H ₁₂	AH
16.216	Octanoic Acid	0.08	-	C ₈ H ₁₆ O ₂	AAI
16.824	2,4,6-Octatriene	0.07	-	C ₁₀ H ₁₆	AH
17.026	Heptan-2-One	-	0.11	C ₇ H ₁₄ O	OC
17.300	2,6-Nonadienal	0.02	-	C ₉ H ₁₄ O	AAI
17.469	1-Undecene	0.06	-	C ₁₁ H ₂₂	AH
17.581	2-Nonenal	0.02	0.14	C ₉ H ₁₄ O	AAI
18.352	3-Cyclohexen-1-Ol	0.03	-	C ₉ H ₁₄ O	AH
18.356	Trans-Sabinene Hydrate	-	0.09	C ₁₀ H ₁₈ O	OM
18.766	Benzoic Acid	0.04	-	C ₇ H ₆ O ₂	AAI
18.921	β-Fenchyl Alcohol	0.09	0.13	C ₁₀ H ₁₈ O	OM
19.010	1-methoxy-4 benzene	0.12	0.06	C ₆ H ₆	AH
19.350	Decanal	-	0.08	C ₁₀ H ₂₀ O	OM
20.010	Nonanoic Acid	0.05	-	C ₉ H ₁₈ O ₂	AAI
20.263	Z-3-Hexenyl 2-Methylbutanoate	0.07	-	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	AAI
20.469	Butanoic Acid	0.15	-	C ₄ H ₈ O ₂	MH
20.550	2-Isopropyl-1-Methoxy-4-Methylbenzene	0.05	-	C ₁₁ H ₁₆ O	AH
20.693	Butanoate	0.02	-	C ₈ H ₁₆ O	AAI
20.981	Linalyl Acetate	0.06	-	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	OM
22.214	Exobornyl Acetate	0.07	-	C ₁₂ H ₂₀ O	OM
22.769	Carvacrol	0.04	-	C ₁₀ H ₁₄ O	OM
23.589	3,7-Cycloundecadien-1-Ol	0.01	-	C ₁₅ H ₂₆ O	OC
25.204	Cyclosativene	-	0.31	C ₁₅ H ₂₄	SH
25.231	Ylangene	3.22	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
25.457	α-Copaene	3.61	2.86	C ₁₅ H ₂₄	SH
25.576	Satven	0.20	-	-	OC
26.345	Tetradecane	0.03	0.21	C ₁₆ H ₃₄	AH
26.426	Undec-4-Ene	0.12	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
26.430	Caryophyllene	-	0.09	C ₁₅ H ₂₄	SH
26.527	α-Gurjunene	0.26	0.04	C ₁₅ H ₂₄	SH
26.650	Nonane	0.03	-	C ₉ H ₂₀	AH
26.788	Dehydro aromadendrane	0.04	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
27.034	Trans-Caryophyllene	24.57	24.33	C ₁₅ H ₂₄	SH
27.265	Epi-Bicyclosesquiphellandrene	0.03	-	C ₁₀ H ₁₆	OC
27.456	α-Guaiene	0.06	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
27.552	Aromadendrene	0.15	-	C ₁₅ H ₂₄	SH

27.658	Aristolen	1.35	-	-	OC
27.914	Humulen	0.26	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
28.027	β-Farnesene	0.13	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
28.140	α-Humulene	5.70	16.14	C ₁₅ H ₂₄	SH
28.269	Alloaromadendrene	1.34	0.05	C ₁₅ H ₂₄	SH
28.654	Cadina-1(6)	0.37	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
28.740	α-Amorphene	0.88	0.13	C ₁₅ H ₂₄	SH
28.846	δ-Cadinene	2.19	0.34	C ₁₅ H ₂₄	SH
29.065	Isoledene	0.13	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
29.195	β-Selinene	-	0.76	C ₁₅ H ₂₄	SH
29.307	α-Copaene	0.38	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
29.431	α-Selinene	-	0.23	C ₁₅ H ₂₄	SH
29.446	Epizonaren	0.53	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
29.518	α-Muurolene	0.75	0.21	C ₁₅ H ₂₄	SH
29.595	Pentadecane	-	0.15	C ₁₈ H ₃₈	AH
29.663	Δ-Cadinene	2.33	0.48		SH
30.288	Cadinene	0.32	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
30.461	β-Guaiene	0.06	-	C ₁₅ H ₂₄	SH
30.840	α-Calacorene	0.65	-	C ₁₅ H ₂₀	AAI
31.476	Cadala-1(10),3,8-Triene	0.01	-	C ₁₀ H ₁₄	MH
32.081	Heptyl Octanoate	-	0.11	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	OC
32.110	Cembrene	0.04	-	C ₂₀ H ₃₂	OC
32.698	Hexadecane	-	0.08	C ₁₆ H ₃₄	AH
		99.93	99.80		
	Component number	86	64		
	AA: Aromatik alkol	0.02	3.07		
	AAI: Aromatik aldehit	1.52	1.70		
	AH: Aromatik hidrokarbon	2.96	1.50		
	MH: Monoterpen hidrokarbon	44.91	40.29		
	OM: Oksijenli monoterpen	0.21	0.23		
	OC: Diğer bileşenler	1.78	2.05		
	SH: Seskiterpen hidrokarbon	48.49	50.96		
	FA: Yağ asitleri metil esteri	0.04	-		

*"- " sembolü 0.01'den az olan bileşenler için kullanılmıştır.

*"R.T." Retention Time

4. Discussion and Conclusion

Helichrysum arenarium subsp. *aucheri* according to the results obtained from flower plants leaves and flowers, α-Pinene (14.79%), (22.5%); trans-Caryophyllene 24.33%, 24.57% as it is the most active in samples from its two sample areas. The same analysis is in the sample samples from β-pinene Adana (8.98%), the main component is in the sample samples from Isparta (6.38%) in the environment at a lower rate. α-Humulene and dl-Limonene are the most effective applications in the samples collected from Isparta Aksu, respectively (16.14%) and (11.98%), while the α-Humulene was 5.70% lower in the samples from Adana and the dl-Limonene component was not detected.

In general, the essential ingredients in *Helichrysum* spp. essential oil are neryl acetate (1), γ-curcumene (2), (+) - limonene, neryl propionate, α-pinene (3), ar-curcumene, italdione I (4), nerol, italicene, linalool, italdione II (5), eudesm-5-en-11-ol, italdione II isomer, 4,6-dimethyloctan-3,5-dione (italdione III), 4-methylhexan-3-one, isoitalicene and 1 Reported as 8-cineole (Tisserand & Young, 2014). It is reported that the essential oil components differ significantly due to the polymorphism in the studies conducted in the regions where it has a wide spread area. Geraniol (36%), geranyl acetate (15%) and nerolidol (12%) in Greek-origin essential oils (Chinou et al., 1996), neryl acetate (36-51%) and α-pinene in France-Corsica essential oils (17%) and γ-curcumene (15%) (Bianchini et al., 2001), neryl acetate (17%), α-pinene (5%) and γ-curcumene (16%) in goldgrass essential oils originating from Bosnia and

Herzegovina (Licina and Kralj, 2016), α-pinene, neryl acetate, α-cedrene, nerol, ar-curcumene, γ-curcumene and geranyl acetate (Mastelić et al., 2008), in goldgrass essential oils of Croatian origin neryl acetate (28.2%), γ-curcumene (18.8%), neryl propionate (9.1%) and ar-curcumene (8.3%) (Kladar et al., 2015), α-pinene (22%) in goldgrass essential oils of Serbia origin, γ-curcumene (10%), β-selinene (6%), neryl acetate (6%) and β-caryophyllene (5%), and ar-curcumene (15-29%) in group 1 in Adriatic goldgrass essential oils.) and γ-curcumene (10-22%), α-pinene (25-30%) and neryl acetate (4-14%) in group 2 (Blazevic et al., 1995).

Torabbeigi et al. (2006) In Iran *H. aucheri* essential oil components α-pinene (39.6%), 1,8-cineol (19.7%), β-caryophyllene (7.3%); van Vuuren (2006); In South Africa, in Asia, *H. Cymosum* essential oil components include α-pinene (12.4%), 1,8-cineole (20.4%), β-Caryophyllene (10.8%); *H. gymnocephalum* 15 1,8-cineole (17%), borneol (16%), Italy-Caryophyllene (13%); Charles, D.J., Simon, J.E. (1991); In North Africa, *H. italicum* subsp. *Nerylaceta* (51.4%), α-pinene (17%), North African neryl acetate (17%), γ-curcumene (16%) in *Italicum* essential oil components; Tsoukatou et al., (1999) Spain *H. stoechas* ssp. *Stoechas* blown up α-pine (28.3%), epi-α-bisabolol (21.9%), Spain β-caryophyllene (5.5%) as the main target.

Solid-phase micro-extraction (SPME) method, which is used to obtain volatile components, was used in this study. The SPME method has become a highly preferred method that provides sensitivity with ease of use with fast and low cost sampling without solvent (Umaz et al., 2019). In this study, the volatile

components of gold grass from two different locations were determined and compared with the SPME / GC-MS method. In our research, *H. arenarium* ssp. The α -pinene component, which we identified as one of the most active components in our aucheri sample, was also found at high rates in studies conducted in literature, while other components determined in the literature were found at lower rates in our study. According to the studies carried out, some differences were determined in terms of the essential oil basic components and ratios of the tested plant species compared to other studies. When we look at the literature, the α -pinene component, which is one of the most active components we found in the experimental study, has antimicrobial (Moslemi et al.2012), anti-inflammatory, antibacterial, antioxidant, anticancer and antinociceptive activities (Aydın et al., 2013) and the anti-inflammatory component of the trans-Caryophyllene component (Fernandes at all., 2006), we can say that this plant can be used effectively in the pharmaceutical industry because it shows activity.

In addition, the variety and amount of bioactive substances present in medicinal and aromatic plants may also differ according to the part of the plant used, post-harvest processes, and the methods of obtaining and analyzing the essential oil used. Considering that essential oil components differ according to environmental factors, more studies should be carried out on different types of gold from different locations in our country, which are rich in gold grass species, in order to reveal the chemical profile of *Helichrysum* spp. species.

References

- Aftab, T. 2019. A review of medicinal and aromatic plants and their secondary metabolites status under abiotic stress. *Journal of Medicinal Plants*, 7(3), 99-106.
- Anderberg, A. A. 1991. "Taxonomy and phylogeny of the tribe Gnaphalioideae (Asteraceae)", *Opera Botanica* 104, 1-195.
- Angioni, A., Barra, A., Arlorio, M., Coisson, J. D., Russo, M. T., Pirisi, F. M., Satta, M., Cabras, P. 2003. "Chemical composition, plant genetic differences, and antifungal activity of the essential oil of *Helichrysum italicum* G. Don ssp. *microphyllum* (Willd) Nym", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(4), 1030-1034.
- Appendino, G., Ottino, M., Marquez, N., Bianchi, F., Giana, A., Ballero, M., Sterner, O., Fiebich, L., Munoz, E. 2007. "Arzanol, an anti-inflammatory and anti-HIV-1 phloroglucinol a-pyrone from *Helichrysum italicum* ssp. *microphyllum*", *Journal of Natural Products*, 70, 608-612.
- Araujo, H.C., Lacerda, M.E.G., Lopes, D., Bizzo, H.R., Kaplan, M.A.C., 2007. Studies On The Aroma Of Mate (*Ilex paraquariensis* St.Hil.) Using Headspace SolidPhase Microextraction. *Phytochemical Analysis*, 18: 469- 474.
- Aydın E, Türkeç H, Geyikoğlu F. 2013. Antioxidative, anticancer and genotoxic properties of α -pinene on N2a neuroblastoma cells. *Biologia*, 68(5): 1004-1009.
- Battaglia S. 2003. *The Complete Guide to Aromatherapy*, 2nd edition. 624 p, Brisbane: The International Centre of Holistic Aromatherapy.
- Bayaz, M. 2014. Esansiyel yağlar: antimikrobiyal, antioksidan ve antimutajenik aktiviteleri. *Academic Food Journal/Akademik Gıda*, 12(3).
- Bayram, E., Kırıcı, S., Tansı, S., Yılmaz, G., Arabacı, O., Kızıl, S., Telci, D., 2010. "Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler Üretiminin Artırılması Olanakları". *Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-I*, 437-456, 11- 15 Ocak, Ankara.
- Baytop T. *Türkçe Bitki Adları Sözlüğü*. Türk Dil Kurumu Yayınları. Ankara; 1997.
- Bianchini, A., Tomi, P., Costa, J., Bernardini, A. F. 2001. "Composition of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don fil. subsp. *italicum* essential oils from Corsica (France)", *Flavour and Fragrance Journal*, 16, 30-34.
- Blažević, N., Petričić, J., Stanić, G., Males Z. 1995. "Variation in yields and composition of immortelle (*Helichrysum italicum* Roth Guss.) essential oil from different locations and vegetation periods along Adriatic coast", *Acta Pharm.*,45, 517-522.
- Catty, S. 2001. *Hydrosols: the next Aromatherapy*. Vermont: Healing Arts Press. 96-97.
- Charles, D.J., Simon, J.E. (1991). Volatile compounds of the curry plant, *Hort Science*, 26: 69- 70.
- Chinou, I.B., Roussis, V., Perdetzoglou, D., Loukis, A. 1996. "Chemical and biological studies on two *Helichrysum* species of Greek origin", *Planta Med.* ; 62(4), 377.
- Christaki, E., Bonos, E., Giannenas, I., Florou-Paneri, P. 2012. Aromatic plants as a source of bioactive compounds. *Agriculture*, 2(3), 228-243.
- Davis, P. H., Mill, R. R. & Tan, K. (eds.) 1988: *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* 10. - Edinburgh.
- Davis, P. H., R. R. Mill, and K. Tan. 1988. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, 96-103. Edinburgh, UK: Edinburgh Univ. Pres.
- Dönmez, İ.E., Salman, H., 2017. Yaban mersini (*Myrtus communis* L.) yaprak ve meyvelerinin uçucu bileşenleri. *Turkish Journal of Forestry*, 18(4): 328-332.
- Eroğlu, H. E. 2018. The Names in Turkish and Other Languages of Turkey *Helichrysum* Taxa. *Avrasya Terim Dergisi* 6 (1):26-34.
- Fernandes Elizabeth S. a, Giselle F. Passos a, Rodrigo Medeiros a, Fernanda M. da Cunha a, Juliano Ferreira b, Maria M. Campos c, Luiz F. Pianowski d, João B. Calixto.2006. Anti-inflammatory effects of compounds alpha-humulene and (-)-trans-caryophyllene isolated from the essential oil of *Cordia verbenacea* *European Journal of Pharmacology* 569 (2007) 228-236.
- Gattefossé, R. M. 1993. *Gattefossé Aromatherapy*. UK: The C.W. Daniel Company. p25.
- Guner, A., N. Ozhatay, T. Ekim, and K. H. C.Baser. 2000. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*.Edinburgh: Edinburgh University Press," 11, 2000.
- Haas, M. 2004. *Quick Reference Guide for 114 Important Essential Oils*. San Rafael, CA: Linda Scent and Image books.
- Harris, B. Harris, R. 2002. *Aromatherapy for Pain Relief*. Retrieved on October 28.
- Igwillo U.C, Ola-Adedoyin A. T, Abdullahi M. M And Chukwuemeka A. E. 2019. A review of opportunities and challenges in conservation and use of medicinal and aromatic plants in Nigeria. *International Journal of Advanced Research*, 7 (4). 770-778 (ISSN 2320-5407).
- Kayaalp S.O. 2001. Rasyonel Tedavi Yönünden Tıbbi Farmakoloji, 1.cilt, 9. baskı, Hacettepe-TaÇ Kitapçılık, Ankara, sayfa: 19, 21-22, 25-26, 175.
- Kladar, N.V., Anačkov, G.T., Rat, M. 2015. "Biochemical Characterization of *Helichrysum italicum* (Roth) G.Don subsp. *italicum* (Asteraceae) from Montenegro: Phytochemical Screening, Chemotaxonomy, and

- Antioxidant Properties”, *Chemistry & Biodiversity*, 12(3), 419-431.
- Lawless, J. 2002. *The Encyclopedia of Essential Oils*. London: Thorsons. p107.
- Licina, A., Kralj, V.R. 2016. “Mediterranean Gold-*Helichrysum italicum*”, *The International Journal of Professional Holistic Aromatherapy*, 4(4), 5-12.
- Marković, S. 2005. *Fitoaromaterapija*. Zagreb: Centar Cedrus. p245.
- Mastelić, J., Politeo, O., Jerković, I. 2008. “Contribution to the analysis of the essential oil of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don. determination of ester bonded acids and phenols”, *Molecules*, 13(4), 795-803.
- Millou, Y., Fontes, K., Tourel, C. 2010. Cosmetic composition comprising an essential oil, extracted from *Helichrysum italicum*. United States Patent, No: US7666454B2 dated 23.02.2010.
- Mojay, G. 1996. *Aromatherapy for Healing the Spirit*. London: Gaia Books Limited, p:70–71.
- Moslemi H.R., Hoseinzadeh H, Badouei M.R et al. Antimicrobial Activity of *Artemisia absinthium* Against Surgical Wounds Infected by *Staphylococcus aureus* in a Rat Model. *Indian J Microbiol* 2012;52:601–604.
- Nostro, A., Bisignano, G., Cannatelli, M. A., Crisafi, G., Germano, M. P., Alonzo, V. 2001. “Effects of *Helichrysum italicum* extract on growth and enzymatic activity of *Staphylococcus aureus*”, *International journal of antimicrobial agents*, 17(6), 517-520.
- Peyron, L., Roubaud, M. 1971. *Parfums, Cosmétiques et Savons de France*, p:129.
- Poštić, S. 2013. *V čarobnem svetu vonjev*. Ljubljana: Buča. p93.
- Price, S., Price, L. 2012. *Aromatherapy for Health Professionals*, 4th ed. London: Churchill Livingstone 315.
- Roussis, V., Tsoukatou, M., Chinou, I.B., Ortiz, A. 1998. “Composition and antibacterial activity of the essential oils of *Helichrysum rupestre* and *H. ambiguum* growing in the Balearic Islands1 (Part III)”, *Planta medica*, 64(07), 675-676.
- Sala, A., Recio, M., Giner, R.M., Máñez, S., Tournier, H., Schinella, G., Ríos, J.L. 2002. “Anti-inflammatory and antioxidant properties of *Helichrysum italicum*”, *Pharm Pharmacol.*, 54 (3), 365-371.
- Schnaubelt, K. 2011. *The Healing Intelligence of Essential Oils*. Toronto: Healing Art Press. p152-155.
- Sümbül, H., R. S. Göktürk, and O, and D. Düşen. 2003. A new endemic species of *Helichrysum* Gaertn. (Asteraceae-Inuleae) from south Anatolia. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141:251–54. doi:10.1046/j.1095-8339.2003.00109.x.
- Şen N., Kalaycı G. 2016. Altın Otu Bitkisinden (*Helichrysum arenarium*) Tanen ve Kumarinin Kimyasal Kompozisyonu 42 (2): 226-231.
- Tabata M, Honda G, Sezik E et al. 1993. A report on traditional medicine and medicinal plants in Turkey 1990, 1991. Faculty of Pharmaceutical Sciences, Kyoto University. Kyoto, s. 54 - 107
- Tisserand R, Young R. 2014. *Essential oil safety*. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, Elsevier.
- Torabbeigi M., Azar P.A. & Meibodi Z. A. 2006. Chemical Composition of Essential Oils of Aerial Partsof *Helichrysum aucheri* from Iran. *Analytical Chemistry Letters*. 1:5-6, 393-396, DOI: 10.1080/22297928.2011.10648243
- Tsoukatou, M., Roussis, V., Chinou, L., Petrakis, P.V., Ortiz, A. (1999). Chemical Composition of the Essential Oils and Headspace Samples of Two *Helichrysum* Species Occurring in Spain, *Journal of Essential Oil Research*, 11: 511-516.
- Van Vuuren, S. F., du Toit, L. C., Parry, A., Pillay, V., Choonara, Y. E. (2010). Encapsulation of essential oils within a polymeric liposomal formulation for enhancement of antimicrobial efficacy. *Natural product communications*, 5(9), 1401-1408.
- Van Vuuren, S.F., Viljoen, A.M., van Zyl, R.L., van Heerden, F.R., Baser, K.H.C. (2006). The antimicrobial, antimalarial and toxicity profiles of helihumulone, leaf essential oil and extracts of *Helichrysum cymosum* (L.) D. Don subsp. *cymosum*, *South African Journal of Botany*, 72: 287-290.
- Zeybek, U. and N. Zeybek. 2002. *Farmasötik Botanik*. 3. Baskı, E.Ü. Ecz. Fak. Yayın. No.3, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir, pp. 378-382.



Derin Öğrenme Teknikleri İle Nesne Tespiti Ve Takibi Üzerine Bir İnceleme

Fatma Gülşah Tan^{1*}, Asım Sinan Yüksel², Erdal Aydemir³, Mevlüt Ersoy⁴

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Rektörlük, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2748-0396), gulsah@sd.edu.tr

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1986-5269), asimyukse@sd.edu.tr

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4834-725X), erdalaydemir@sd.edu.tr

⁴ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2963-7729), mevluterso@sd.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 15 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.878552)

ATIF/REFERENCE: Tan, F.G., Yüksel, A.S., Aydemir, E. & Ersoy, M. (2021). Derin Öğrenme Teknikleri ile Nesne Tespiti ve Takibi Üzerine Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 159-171.

Öz

Derin öğrenme, son zamanlarda insan hatalarını en aza indirmesiyle popüler olan yapay zekâ yaklaşımlarındandır. Derin öğrenme teknikleri birçok alanda büyük miktardaki veri kullanımı ile başarılı bir şekilde algılama, yorumlama yapabilme yeteneğine sahiptir. Özellikle görüntü işleme alanında birikmiş etiketli verilerdeki hızlı artış derin öğrenme algoritmalarına yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir. Bu alanlardaki verilerin giderek artmasıyla büyük verilerden yararlı bilgiyi ayırmak ve metin, görüntü, ses dosyalarına anlam kazandırmak amacıyla derin öğrenme yöntemleri kullanılmaktadır. Son yıllarda, nesne tespiti ve nesne takibi alanında yapılan çalışmalarda artış görülmektedir. Videolar gibi durağan olmayan görüntüler üzerinde tespit ve analiz sonrasında takip edilecek olan bir nesne varsa anlamlı bilgiler çıkarmak daha zor olmaktadır. Bu gibi durumlarda derin öğrenme algoritmalarının kullanılması görüntü işleme problemlerinin kolaylıkla çözüme kavuşturulabilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı; derin öğrenme ile nesne tespiti ve takibi konusunda yapılan uygulamaları incelemek, son gelişmeleri anlatmak, popüler kütüphaneler, veri setleri, algoritmalar hakkında bilgi vererek bu alanda çalışacak olan araştırmacılara yardımcı olmaktır.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Görüntü İşleme, Nesne Tespiti, Nesne Takibi, Sinir Ağları.

A Review On Object Detection And Tracking With Deep Learning Techniques

Abstract

Deep learning is one of the artificial intelligence approaches that has recently become popular for minimizing human error. Deep learning techniques have the ability to successfully detect and interpret with the use of large amounts of data in many areas. Especially, the rapid increase in labeled data accumulated in the field of image processing has made it necessary to turn to deep learning algorithms. With the increasing data in these areas, deep learning methods are used to separate useful information from big data and to give meaning to text, images and audio files. In recent years, there has been an increase in the studies conducted in the field of object detection and object tracking. If there is an object to be followed after detection and analysis on non-stationary images such as videos, it is more difficult to extract meaningful information. In such cases, the use of deep learning algorithms enables image processing problems to be solved easily. The aim of this study is to examine the applications of deep learning and object detection and tracking, to explain the latest developments, to help researchers who will work in this field by giving information about popular libraries, data sets, algorithms.

Keywords: Deep Learning, Image Processing, Object Detection, Object Tracking, Neural Networks.

* Corresponding Author: gulsah@sd.edu.tr

1. Giriş

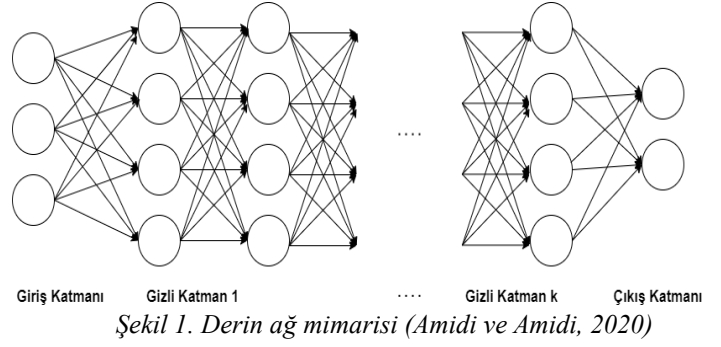
Son yıllarda gelişen teknoloji sayesinde görüntü ve videolardaki artış, arka planda etiketsiz yığılmış verilerin artmasına da neden olmuştur. Bundan dolayı bu verilerden anlamlı sonuçlar çıkarmak, verilerin analizini yapmak önemli bir konu haline gelmiştir. Bu problemi çözmek için görüntü işleme algoritmaları kullanılmaktadır. Görüntü işleme algoritmaları yararlı bilgiyi seçmek; metin, görüntü, ses dosyalarına anlam kazandırmak; yüz tanıma, plaka tespiti, nesne tespiti gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Luo vd., 2014). Veri miktarındaki artış ile verilerin karmaşıklığı arttıkça geleneksel yöntemler yetersiz kalmaya başlamıştır. Görüntü işleme algoritmalarının yetersiz kaldığı uygulamalarda son yıllarda popüler hale gelen, güçlü öğrenme yeteneğine sahip ve yüksek doğruluk oranı sağlayan derin öğrenme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Derin öğrenme yöntemleri endüstri (Wallach vd., 2015), sağlık (Havaei vd., 2017), askeri sistemler (Yang, 2018), (Verma ve Dhillon, 2017), (Fu, 2018) ve akademik alanlar başta olmak üzere birçok araştırma ve uygulamada; görüntü işleme ve büyük miktardaki verileri başarılı bir şekilde yorumlama yeteneğine sahiptir. Özellikle görüntü işleme alanında, nesne tespiti ve takibi son yıllarda üzerinde çalışılan popüler bir konu haline gelmiştir. Durağan olmayan görüntülerde nesne tespitinin yapılması zor bir süreçtir. Derin öğrenme, nesne tespiti ve takibini yüksek performansta gerçekleştirmek için birden fazla yöntem barındırmaktadır. Belirlenmiş bir nesneye ait şekil, konum, renk, hız gibi özellikler kullanılarak görüntü ve videoda ilgilenilen nesnenin tespiti ve takibi yapılabilir (Wang, 1998) ya da arka planın videodan çıkarılması, takip edilecek nesnenin özneliklerinin belirlenmesi, nesnenin sınıflandırılması gibi işlemlerle nesne takibi ve tespiti yapılabilmektedir (Avidan, 2004). Bu noktada probleme göre doğru algoritmanın, mimarinin seçimi önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, derin öğrenme yöntemleri kullanılarak nesne tespiti ve takibi alanında son yıllarda yapılan farklı kategorilerdeki çalışmalar incelenmiştir. Kullanılan ağlar, mimariler, veri setleri, algoritmalar, kütüphaneler hakkında bilgiler verilerek bu alanda çalışacak olan araştırmacılara yardımcı olmak amaçlanmıştır.

2. Derin Öğrenme

Derin öğrenme; doğrusal olmayan katmanlardan yararlanarak ses dosyalarını metne dönüştürme, görüntü analizi, görüntü sınıflandırma, verileri işleme gibi işlemler için kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerindedir. Derin öğrenme katmanlardan oluşur ve her katman önceki katmandan gelen çıktıyı kendisine girdi olarak alır (Deng ve Yu, 2013). Derin öğrenme katmanlarında girdi katmanı ilk katman, çıkış katmanı ise son katmandır. Giriş ve çıkış katmanı arasındaki katmanlara da gizli katmanlar denilmektedir. Şekil 1'de derin ağ mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 1. Derin ağ mimarisi (Amidi ve Amidi, 2020)

Yapay zekâ çalışmalarında kullanılan makine öğrenimi yöntemi yapay zekânın alt dalı olarak kabul edilmektedir. Derin öğrenme de makine öğreniminin alt dalıdır. Şekil 2'de yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenmeye ait ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2. Yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme kronolojisi

Microsoft, Apple, Google, Facebook gibi büyük ölçekli teknoloji ve yazılım şirketleri kendi ürünlerinde derin öğrenme yöntemleri kullanılmaktadırlar (Cbinsights, 2019). Bu uygulamalarda kullandıkları teknikleri açık hale getirerek bu alanda ilerlemek isteyen kullanıcılara destek olmaktadır.

2.1. Derin Öğrenmenin Evrimi

Derin öğrenme, beyin nöronlarının mimarisinden etkilenilerek oluşmuştur. Bu keşifle birlikte çok katmanlı sinir ağlarını eğitmek için araştırmacılar büyük çaba sarf etmişlerdir (Bolouri, 1995). Derin öğrenme kavramı ilk olarak, yapay sinir ağları hakkındaki çalışmaları sırasında Igor Aizenberg ve arkadaşları tarafından 2000'li yıllarda kullanılmıştır. Yapay zekâ ve derin öğrenmenin geçmişine bakıldığında dönemsel kırılmalar olduğu görülmektedir. Dönemsel olarak bu gelişmeler incelendiğinde;

1940 ve 60'li yıllarda derin olmayan sinir ağlarından bahsedilmiş ve uygulamalar yapılmıştır. 1943 yılında bir sinir ağına ait ilk matematiksel model Warren McCulloch ve Walter Pitts tarafından geliştirilmiştir (McCulloch and Pitts, 1988). 1950 yılında Alan Turing (Turing, 2012), makine öğrenimi kavramının gelişmesini ve ileride nasıl etkiler yaratacağını öngörmüştür. "Computing Machinery and Intelligence" adlı çalışmasında genetik algoritmalarından bahsetmiştir. 1960 ve 80'li yıllarda derin öğrenme ağları, geri yayılma, ilk yapay zekâ kışı ve konvolüsyonel sinir ağları kavramları ortaya çıkmıştır. 1965 yılında Alexey Ivakhnenko ve VG Lapa, derin öğrenme ile ilgili teorileri kullanarak grup veri işleme metodunu geliştirmiş ve ilk derin öğrenme ağlarını oluşturmuşlardır (Ivakhnenko and Lapa, 1965). 1980'li yıllarda Kunihiko Fukushima, Neocognitron adını verdiği el yazısı karakterleri, görüntü tanıma için çok katmanlı

evrimsel yapay sinir ağını önermiştir (Fukushima, 1980). 1985 yılında Terry Sejnowski, NetTalk oluşturmak için İngilizce kelimeleri telaffuz eden programının sürecini geliştirmiştir. 1986 yılında Geoffrey Hinton, David Rumelhart ve Ronald J. Williams, kelime tahmini ve şekil tanıma geliştirmeler kaydederek sinir ağlarının nasıl hızlı ve kapsamlı şekilde geliştirilebileceğini göstermiştir (Sejnowski ve Rosenberg, 1986). 1989 yılında Yann LeCun, elle yazılmış rakamları okuyabilmek için konvolüsyonel sinir ağlarını geri yayılım kuramlarıyla birleştirerek elle yazılmış çekleri ve posta kodlarını okumak için kullanmıştır (LeCun vd., 1989).

1990'lı yıllar ikinci yapay zekâ kışı olarak bilinmektedir. Bu dönemden günümüze kadar baktığımızda denetimsiz derin öğrenme, denetimli derin öğrenme ve modern derin öğrenme kavramları ortaya çıkmıştır. 1993 yılında Jürgen Schmidhuber, çok derin öğrenme kavramı ile sinir ağlarının derinliği ve karmaşıklığında büyük bir adım atmıştır. 1995 yılında Corinna Cortes ve Vladimir Vapnik, benzer iki gruba ait verileri sınıflandırmak için destek vektör makinelerini geliştirmişlerdir (Cortes ve Vapnik, 1995). 1997 yılında Jürgen Schmidhuber ve Sepp Hochreiter, sinir ağlarının verimliliğini arttırmaya yönelik, uzun vadeli bağımlılık problemlerini ortadan kaldıran uzun kısa süreli bellek adını verdikleri sinir ağı modelini önermişlerdir. 2000'li yıllarda, Hinton ve Salakhutdinov'un çalışmalarında çok katmanlı bir sinir ağı katmanının tek seferde önceden nasıl eğitebileceği gösterilmiş ve derin öğrenme kavramı popülerlik kazanmaya başlamıştır (Salakhutdinov ve Hinton, 2009). 2009 yılında Fei-Fei Li, denetimli öğrenme ile sinir ağlarını eğitmek için kullanılacak 14 milyondan fazla etiketli verilerin bulunduğu çok büyük ve ücretsiz olan ImageNet'i başlatmıştır (Deng vd., 2009). 2014 yılında, Facebook kendi ortamında paylaşılan fotoğraflarda kullanıcıları otomatik olarak bulup etiketlemek için derin öğrenme ile geliştirilen DeepFace sistemini kullanmıştır. Derin öğrenme algoritmaları %97.35 oranındaki hassasiyetle insanlara rakip bir gelişme göstermiştir. 2016 yılında Google'ın AlphaGo programı, profesyonel bir Go oyuncusu olan Lee Sedol'u yenmiştir. AlphaGo, makine öğrenmesi ve ağaç arama teknikleri kullanılarak DeepMind tarafından geliştirilmiştir (Gibney, 2016). 1940'lı yıllarda başlayıp günümüzde hala devam eden yapay zekânın eksikliklerini makine öğrenmesi tamamlamıştır. 2010 yılından sonra büyük verinin işlenmesi ve yapay zekâ evriminde makine öğrenmesinin eksik kaldığı yerlerin tamamlanması derin öğrenme ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te derin öğrenme zaman çizelgesi gösterilmiştir.

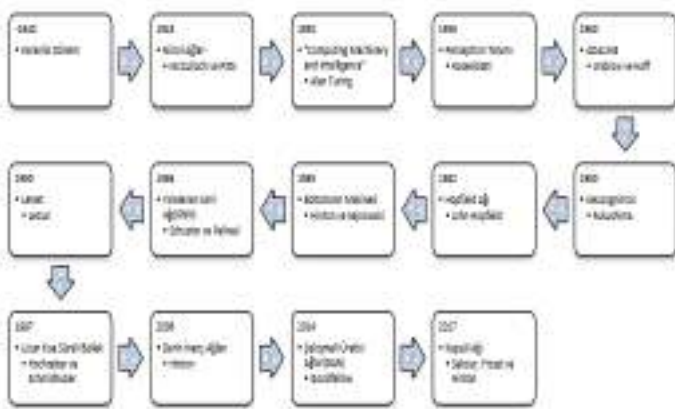
2.2. Derin Öğrenmenin Uygulama Alanları

Derin öğrenme verinin olduğu her alanda başarılı bir şekilde uygulanabilir. Derin öğrenmenin uygulandığı popüler alanlara doğal dil işleme, sinyal ve görüntü işleme, video işleme, bilgisayar oyunları, robotlar ve otonom arabalar, ses, konuşma, yüz, metin tanıma, ilaç tasarımı, biyobilişim, duyu analizi, dijital pazarlama, nesne algılama, sanat gösterilebilir.

Sinyal, video ve görüntü işleme alanlarında, Sun vd. (2017) görüntü işleme ile bilgisayarlı tomografi görüntü tanısından akciğer nodülünü tespit etmeyi amaçlamışlardır. Geliştirilen modelin performansını hesaplamak için el ile belirledikleri özellikleri kullanarak geleneksel bilgisayar destekli tanı sistemleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda akciğer nodülü tespitinde istenilen performansı elde ettiklerini belirtmişlerdir. Tan ve Cao (2020), derin öğrenme yöntemleri ile geliştirilen video analiz uygulamalarının özellikle mobil platformlardaki enerji tüketimini ve hesaplama yükünü azaltmak için sezgisel tabanlı bir model önermişlerdir. Akıllı telefonlarda yaptıkları deneyler sonucunda önerdikleri modelin etkinliğini kanıtladıklarını belirtmişlerdir. Yousefi-Azar ve Hamey (2017), e-mail veri kümesini kullanarak tek belge özeteleme yöntemlerini önermişlerdir. Amaçları terim frekansı girdisinden bir özellik alanı hesaplamaktır. Önerdikleri derin oto-kodlayıcı sayesinde daha ayırt edici bir özellik alanı sağladıklarını ve %11.2 oranında iyileşme olduğunu söylemişlerdir.

Sorin vd. (2020), çalışmalarında son yıllarda doğal dil işleme teknikleri ile radyoloji alanında yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Pulmoner emboli ve kırıklar gibi tanıların işaretlenmesinin ve görüntüleme protokollerinin otomatik seçiminin doğal dil işleme ile iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir. Biyobilişim ve sağlık alanında, Havaei vd. (2017) derin sinir ağlarını kullanarak beyin tümörlerini segmente eden bir yöntem önermişlerdir. Konvolüsyonel sinir ağı tabanlı bu uygulamaların başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Toğaçar ve Ergen (2019), derin öğrenme hakkında literatür taraması yapmışlar ve biyomedikal alanında yapılan çalışmalar hakkında bilgiler sunmuşlardır. Derin öğrenme modelleri ve kütüphanelerini geleneksel yöntemlerle kıyaslayarak elde ettikleri performansları göstermişlerdir. Toğaçar vd. (2019), erişime açık akciğer röntgen filmleri üzerinde konvolüsyonel sinir ağı modeli kullanarak zatürre hastalığını erken tespit etmeye çalışmışlardır. Farklı sınıflandırma algoritmaları kullanarak modelinin başarı oranını test etmişler ve destek vektör makineleri ile %95.8 yüksek başarı oranı elde etmişlerdir.

Singla vd. (2017), çalışmalarında e-ticaret sitelerindeki verileri kullanarak duyu analizi yapmışlardır. Müşteri gereksinimlerinin belirlenmesinde ve tüketicinin ürün hakkındaki geri bildirimlerinin daha hızlı alınmasında derin öğrenme yöntemlerinin büyük rol oynadığını belirtmişlerdir. You vd. (2016), cezaevlerinden gelen kısa mesajları güvenli, güvenli olmayan şekilde sınıflandırmak için derinlemesine öğrenmeye dayalı tekrarlayan sinir ağı modeli kullanmışlardır. Duygu analizinden esinlenerek uygulanan bu model ile %92.7 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Sarkar ve Bruyn (2020), çalışmalarında girdi olarak ham verileri kullanarak uzun kısa süreli bellek sinir ağı tabanlı bir tahmin modeli önermişlerdir. Bu model ile dijital pazarlama alanında müşteri davranışlarını büyük bir doğrulukla tahmin edebildiklerini belirtmişlerdir.



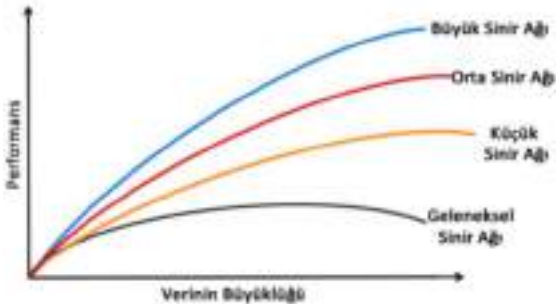
Şekil 3. Derin öğrenme zaman çizelgesi

Robotik alanda, Mikada vd. (2020) YOLOv3 ve konvolüsyonel sinir ağı kullanarak cerrahi robotların iğnenin penetrasyon ve çekme durumunu tahmin ettiği bir yöntem önermişlerdir. İnsan iş birliğine dayalı yapılan deney sonuçları ile önerilen yöntemin etkinliğini göstermişlerdir.

Ses, konuşma, yüz ve metin tanıma alanlarında, Kim (2020), patentini aldığı uygulamasında yapay sinir ağı tabanlı konuşma tanıma modeli geliştirmiştir. Prasad vd. (2019), çalışmalarında derin öğrenme modellerinden olan VGG-Face kullanarak farklı koşullar altına (farklı açı pozları, ışık vb.) yüz tanıma işlemini başarılı bir şekilde yaptıkları belirtmişlerdir. Brocardo vd. (2017), Twitter ve Enron e-posta veri seti üzerinde Gaussian - Bernoulli derin inanç ağına dayanarak yazar doğrulama çalışması yapmışlardır. %8.21 ile %16.73 arasında değişen hata oranlarıyla umut verici sonuçlar elde etmişlerdir.

2.3. Derin Öğrenmenin Mimarisi

Derin öğrenme kaliteli sonuçlar çıkarmak için çok büyük verilere ihtiyaç duymaktadır. Öğrenme işleminin en yüksek başarı ile yapılabilmesi için sistemin eğitilmesi gerekmektedir. Derin öğrenmeyi makine öğrenmesinden ayıran fark çok katmanlı bir sinir ağına sahip olmasıdır. Öğrenme aşaması katmanlardan oluşur. Daha az ayırt edici özellikler alt katmanlarda, alt katmanların birleştirilmesiyle oluşan üst katmanlarda ise daha fazla ayırt edici özellikler bulunmaktadır. Problemin durumuna göre kullanılacak sinir ağı modeli değişmektedir. Şekil 4'te büyük katmanlara sahip bir sinir ağından daha fazla performans alındığına dair şekil gösterilmiştir.



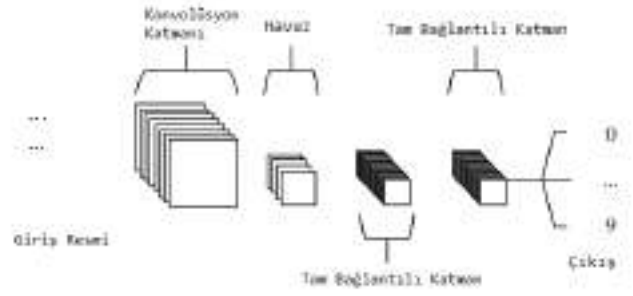
Şekil 4. Derin öğrenmede veri büyüklüğü-performans ilişkisi (Leijnen ve Veen, 2020)

Derin öğrenmede kullanılan mimariler;

- Konvolüsyonel sinir ağları,
- Tekrarlayan sinir ağları,
- Sınırlı boltzmann makineleri,
- Uzun kısa vadeli bellek ağları,
- Derin oto-kodlayıcılar,
- Derin inanç ağlarıdır.

Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network - CNN)

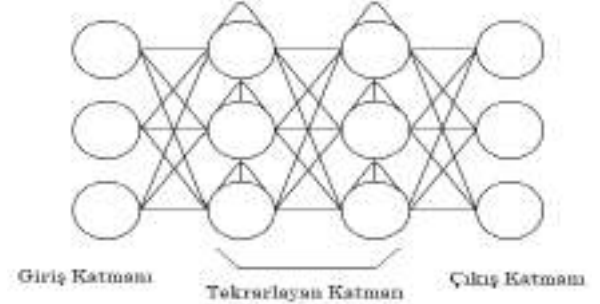
İleri beslemeli, yapay sinir ağı tabanlı, denetimli bir sinir ağıdır. Girdi olarak verilen görüntüdeki nesnelere sınıflandırmak, kümelemek, tanımak için kullanılır (O'Shea ve Nash, 2015). Sabit boyutlu girişler ve çıkışlar vardır. Konvolüsyonel sinir ağı mimarisi tabanlı geliştirilen yöntemlere AlexNet, VGG₂, GoogleLeNet, Clarifai örnek verilebilir. Şekil 5'te konvolüsyonel sinir ağına ait mimari gösterilmiştir.



Şekil 5. Konvolüsyonel sinir ağı mimarisi (O'Shea ve Nash, 2015)

Tekrarlayan/Yineleyen Sinir Ağları (Recurrent Neural Network - RNN)

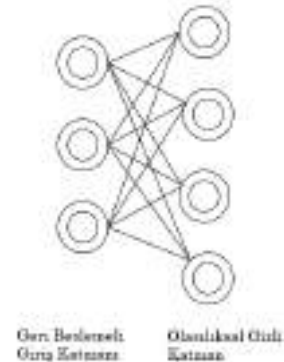
İleri beslemeli yapay sinir ağından farklı olarak kendi girdi dizisini isteğe bağlı olarak işleyen, keyfi giriş ve çıkışları olan denetimli bir sinir ağıdır (Medsker ve Jain, 2001). Amacı ardışık bilgileri kullanarak eğitim modelini oluşturmaktır. Tekrarlayan sinir ağı mimarisi tabanlı geliştirilen yöntemlere Uzun Kısa Süreli Bellek, Kapılı Tekrarlayan Hücre, İki Yönlü Tekrarlı Sinir Ağı, İki Yönlü Uzun Kısa Süreli Bellek örnek verilebilir. Şekil 6'da tekrarlayan sinir ağına ait mimari gösterilmiştir.



Şekil 6. Tekrarlayan sinir ağı mimarisi (Leijnen ve Veen, 2020)

Sınırlı Boltzmann Makineleri (Restricted Boltzmann Machine - RBM)

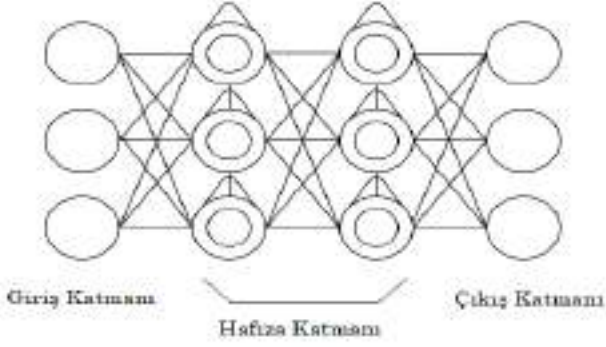
Regresyon, sınıflandırma, modelleme, boyutsallık azaltma gibi alanlarda kullanılan iki katmanlı denetimli ve denetimsiz öğrenme türüne sahip bir sinir ağıdır (Shetty vd., 2020). Katmanlar arasındaki düğümler arasında bağlantı yoktur. Sınırlı Boltzmann makineleri mimarisi tabanlı yöntemlere Derin İnanç Ağları, Derin Boltzmann Makineleri örnek verilebilir. Şekil 7'de sınırlı boltzmann makinelerine ait mimari gösterilmiştir.



Şekil 7. Sınırlı boltzmann makineleri sinir ağı mimarisi (Leijnen ve Veen, 2020)

Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları (Long-Short Term Memory – LSTM)

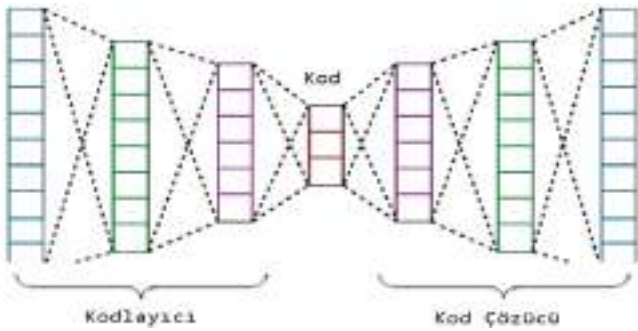
İleri beslemeli sinir ağlarından farklı olarak geri bildirim bağlantılarına dayalı, tekrarlayan yapay sinir ağı mimarisidir (Shetty vd., 2020). Veri işleme, sınıflandırma, tahmin yapma işlemleri için kullanılabilir. Uzun kısa süreli bellek ağları, tekrarlayan sinir ağlarına hafızanın eklenmesiyle oluşmuştur. Bu sayede hafızayı kontrolsüz bir şekilde güncellemek yerine daha seçici davranarak karalı bir şekilde günceller (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997). Şekil 8’de uzun kısa süreli bellek ağlarına ait mimari gösterilmiştir.



Şekil 8. Uzun kısa süreli bellek ağı mimarisini (Leijnen ve Veen, 2020)

Derin Oto-Kodlayıcılar (Deep Autoencoders – DAE)

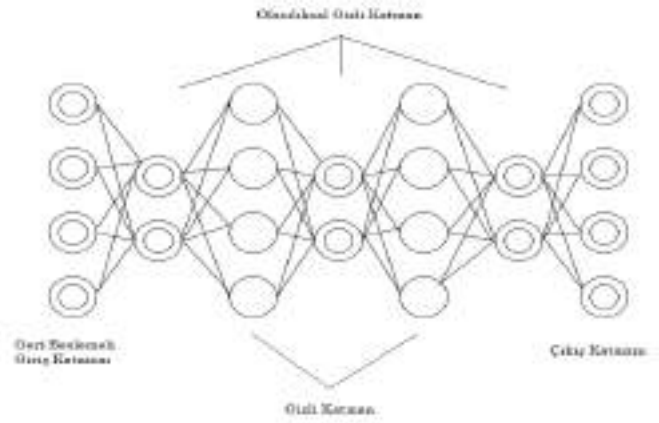
Kodlama ve kod çözücü olarak 2 kısımdan oluşan, eğitim sırasında kendi etiketlerini kullanarak girdi katmanındaki verileri çıkış katmanına gönderen ileri beslemeli, tekrarlanmayan sinir ağı mimarisidir (Şeker vd., 2017). Derin oto-kodlayıcı mimarisini tabanlı geliştirilen yöntemlere Seyrek Oto-Kodlayıcı, Gürültü Temizlemeli Oto-Kodlayıcı, Varyasyonel Oto-Kodlayıcı örnek verilebilir. Şekil 9’da derin oto-kodlayıcılara ait mimari gösterilmiştir.



Şekil 9. Derin oto-kodlayıcı sinir ağı mimarisini (Liu vd., 2017)

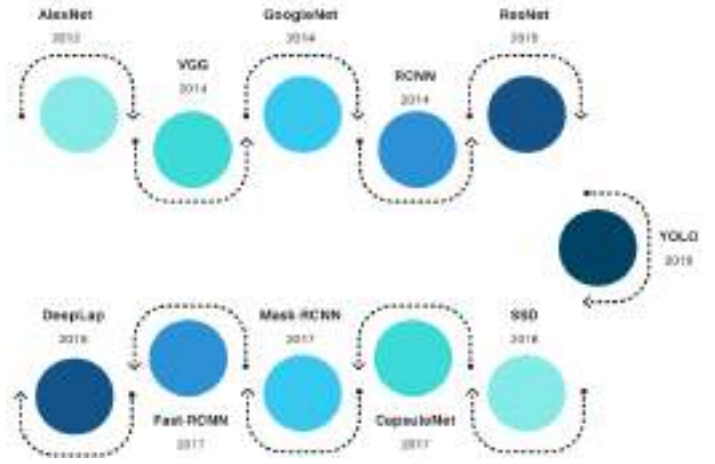
Derin İnanç Ağları (Deep Belief Networks – DBN)

Değişken giriş çıkış boyutuna sahip, katmanların önceki ve sonraki katmanlarla bağlantılı olduğu, düğümler arasında ise yatay iletişimin bulunmadığı bir sinir ağı modelidir. Son katmanda denetimsiz öğrenme ile kümeleme, softmax katmanı ile sınıflandırma yapılabilir (Hinton vd., 2006). Şekil 10’da derin inanç ağlarına ait mimari gösterilmiştir.



Şekil 10. Derin inanç ağları mimarisini (Leijnen ve Veen, 2020)

Derin öğrenme mimarileri ile geliştirilen yöntemlerin zaman içerisindeki gelişimi Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Derin öğrenme mimarileri ile geliştirilen yöntemler (Saleem vd., 2019)

2.4. Derin Öğrenmede Kullanılan Kütüphaneler

Derin öğrenme çalışmalarında kullanılan birden fazla kütüphane ve yazılım bulunmaktadır. Bunlara ait bilgiler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Derin öğrenmede kullanılan kütüphaneler

Kütüphane	Dil	Yıl	Açıklama	GitHub Yıldız Sayısı	GPU Çalışma Zamanı Performansı
PyTorch (Collobert vd., 2017)	Python	2017	GPU desteği, hız ve esneklik	45k	2.88
Tensorflow (TensorFlow, 2020)	Python,C++	2020	Otomatik resim yazısı oluşturma yazılımı, tek bir API ile birden fazla GPU ve CPU'ya dağıtma olanağı	152k	5.57
Keras (Keras: The Python Deep Learning API, 2020)	Python	2020	Aktivasyon fonksiyonları ve optimize ediciler	50.4k	-
Digits (NVIDIA DIGITS, 2017)	C++	2017	Çoklu GPU üzerinde verimli, tamamen etkileşimli	4k	-
Theano (Theano Development Team, 2016)	Python	2016	CPU ve GPU üzerinde verimli bir şekilde çalışır, matematiksel hesaplamalar kolay	9.3k	1.40
Caffe (Jia vd., 2014)	Python, C++	2014	Görüntü sınıflandırma ve görüntü bölümlenme, GPU desteği	31.2k	2.45
Deep learning 4j (DeepLearning4j, 2020)	Java, C, C++, Python	2020	Görselleştirme aracı	11.9k	-

Bu kütüphanelerden GPU desteği veren Theano, TensorFlow, Caffe ve Torch kullanılarak bazı veri kümeleri ve modeller üzerinden çalışma zamanı performansı karşılaştırıldığında (Yuret, 2016), Theano'nun en hızlı çalıştığı ardından Caffe, Torch'un ve en yavaş çalışanın ise TensorFlow kütüphanesi olduğu görülmüştür. Github yıldız sayılarına bakıldığında her açıdan, TensorFlow liderdir. Keras, Caffe, PyTorch ilk beş sırada yer almaktadır.

3. Derin Öğrenme, Nesne Tespiti ve Nesne Takibi ile İlgili Çalışmalar

Derin öğrenme büyük verileri başarılı bir şekilde analiz edebilmekte ve verinin olduğu her alana uygulanabilmektedir. Bu bölümde son yıllarda derin öğrenme, nesne tespiti-takibi alanında yapılan çalışmalar incelenerek kullanılan mimariler, önerilen yöntemler, kütüphaneler ve ağlar hakkında bilgiler verilmiştir.

Bewley vd. (2016), çalışmalarında Kalman filtresi ve Hungarian algoritması kullanarak çevrimiçi ve gerçek zamanlı nesne takip uygulamaları için bir yaklaşım önermişlerdir. Faster R-CNN ağı ile geliştirdikleri bu modelin izleme performansını %18.9 iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Yu vd. (2016), çalışmalarında öznitelik çıkarımı için GoogleNet ve Kalman filtresi kullanarak yüksek performanslı algılama ve derin öğrenme tabanlı görünüm özelliğini keşfetmişlerdir. Çoklu nesne izleme için geliştirdikleri Faster R-CNN tabanlı bu model ile hem çevrimiçi hem de çevrimdışı ortamda önemli ölçüde daha iyi sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

Liu vd. (2017), çalışmalarında yaygın olarak kullanılan derin öğrenme mimarilerini ve uygulamalarını inceleyerek, farklı tiplerde derin sinir ağlarını araştırmışlar ve son gelişmeleri özetleyerek sunmuşlardır. Oto-kodlayıcı, konvolüsyonel sinir ağı, derin inanç ağı ve sınırlı Boltzmann makinesi olmak üzere dört derin öğrenme mimarisi hakkında güncel bir genel bakış sunulmaktadır. Çalışma sonucunda, derin öğrenme teknolojileri

ve uygulamaları hakkında en son gelişmeleri kazandırmak amaçlanmaktadır.

Lu vd. (2017), çalışmalarında uzun kısa süreli bellek ağı ile ardışık çerçeveler arasındaki nesne ilişkisini modellemedeki sorunları ele almışlardır. SSD ağı ve Hungarian algoritması kullanarak geliştirdikleri bu modelde nesnelerin özellikleri arasındaki eşleşme hatalarını en aza indirmişlerdir. Geleneksel video nesnesi algılama yöntemleriyle karşılaştırdıklarında yöntemlerinin daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Perez vd. (2017), çalışmalarında otomatik pornografik içerik algılamayı araştırmışlardır. Pornografi saptamaya doğal bir yaklaşım sunan çalışma önce çıplaklığı tespit etme ve sonra içeriği daha fazla filtrelemek için uygun eşikleri tanımlama aşamalarından oluşur. Bu tür çözümler yaygın olarak renk, doku ve insan geometrisi gibi insan derisi özelliklerini kullanır. Pornografi tespitinde hareket bilgisinin haritalama sorununu hafiflettiğini belirtmişlerdir. Derin öğrenme mimarileri ile hareket bilgisi kullanıldığında otomatik pornografi tespitinde başarı oranı artmaktadır. Optik akış ve MPEG hareket vektörlerini kullanarak statik (resim) ve dinamik (hareket) bilgileri birleştirmenin yeni yollarını önermişlerdir. Her iki yöntemin de eşdeğer doğruluklar sağladığını, ancak MPEG hareket vektörlerinin daha verimli bir uygulamaya izin verdiğini söylemişlerdir. Deneylede iki veri seti kabul edilmiştir: Pornografi-800 ve Pornografi-2k. Önerilen yöntem, 800 zorlu test vakası veri kümesinde %97.9 sınıflandırma doğruluğu, son teknolojiye kıyasla %64.4 hata azalımı vermektedir.

Brunetti vd. (2018), çalışmalarında video gözetimi, insan-makine etkileşimi ve analizi konularında sınıflandırma stratejilerini esas alarak bir anket çalışması sunmuşlardır. Son zamanlarda yaya tespit ve takibinde kullanılan konvolüsyon sinir ağları dahil derin öğrenme metodolojilerinin analiz çalışmalarına yer vermişlerdir. Video izleme, birkaç sensör kullanarak zaman içinde tek veya birden fazla nesneyi bulmayı ve takip etmeyi sağlayan karmaşık bir süreçtir. Hem edinim hem de işleme sistemlerinde dikkate değer bir iyileştirme ihtiyacı nedeniyle, literatürde izleme ile ilgili birçok çalışma bulunabilir. Bu çalışmada yaya tespit ve takip sistemi üzerine bir araştırma

sunulmuştur. Analiz edilen çalışmalar, yaya tespit çalışmalarına modern yaklaşımların nasıl araştırılması ve kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, rapor edilen çalışmalar otomatik yaya tespitinde cesaret verici sonuçlar göstermektedir. Ancak daha fazla mimarinin uygulanması ve test edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Chaudhary vd. (2018) çalışmalarında, videolarda bulunan birden fazla anormal etkinliği otomatik olarak algılamayı amaçlamışlardır. Suç oranının katlanarak artması nedeniyle, alışveriş merkezlerinde, istasyonlarda, okullarda, havaalanlarında gözetleme sistemleri kurulmaktadır. Bu nedenle, akıllı gözetim sistemine olan büyük bir talepten dolayı önerilen çerçeve ile hareketli nesne algılama, nesne izleme ve etkinlik tanıma için davranış anlama modeli gerçekleştirmişlerdir. Önerilen çerçevenin, birden fazla anormal etkinliği %90'a kadar algılama doğruluğu ile başarılı bir şekilde tespit edebildiğini kanıtlamışlardır. Kim vd. (2018), çalışmalarında önceden eğitilmiş YOLOv2 ile gerçek zamanlı çoklu yaya takibi gerçekleştirmişlerdir. Klasik konvolüsyonel sinir ağı modeli haricinde önceden eğitilmiş bu model sayesinde çevrimiçi öğrenme süresini azaltmışlardır. İki taraflı eşleşme için Greedy algoritmasından yararlanmışlardır. Deneyler sonucunda önerilen algoritmanın kullanılan geleneksel yöntemlerden daha iyi performans sağladığını belirtmişlerdir.

Zhang vd. (2019), çoklu domuz algılama uygulamalarındaki ışık, şekil bozuklukları, tıkanmalar gibi sorunları ele alarak domuzların manuel olarak işaretlenmesini veya fiziksel olarak tanımlanmasını gerektirmeyen gerçek zamanlı tespit yapan bir model önermişlerdir. Konvolüsyonel sinir ağı tabanlı ve Hungarian algoritması kullanılarak gerçekleştirilen bu model ile ticari bir çiftlikten alınan veri kümesiyle yapılan deneylerin zorlu koşullar altında birden fazla domuzu başarılı bir şekilde algılayıp izleyebildiklerini belirtmişlerdir.

Ciapparrone vd. (2020), çalışmalarında tek kameralı videolarda çoklu nesne takibi görevini çözmek için derin öğrenme modellerini kullanan çalışmalar hakkında kapsamlı bir anket sunmaktadır. MOT (Multiple Object Tracking- Çoklu Nesne İzleme) algoritmalarında dört ana adım tanımlanmıştır ve bu aşamaların her birinde derin öğrenmenin nasıl kullanıldığına dair derinlemesine bir inceleme sunulmaktadır. Genel bir MOT boru hattını karakterize etmek için dört ana adım gösterilmiştir: algılama, özellik çıkarma, sonsuz hesaplama, ilişkilendirme. Konvolüsyonel sinir ağları uzaysal örüntü çıkarmada en son teknolojiyi oluşturur ve tekrarlayan sinir ağları görüntü sınıflandırma veya nesne tespiti gibi görevlerde kullanılır. Uzun kısa süreli bellek ses sinyalleri, zamansal seri ve metin gibi sıralı verileri işlemek için kullanılır. MOTChallenge, MOTChallenge1 çoklu nesne takibi için en yaygın kullanılan kriterdir.

Cheng vd. (2020), çalışmalarında video dizilerindeki eğitim süresini kısaltan ve nesneyi izlemek için kullanılan bir tahmin ağı tasarlamışlardır. İlk on karenin nesne konumlarını, tahmin ağını ayarlamak için kullanmışlardır. Tahmin ağı, uyarlanabilir giriş özelliklerini nesne görünümü varyasyonlarını yakalamak için rastgele maskeler üreten üretken çekişmeli ağ çerçevesine entegre etmişlerdir. Son olarak, izleme performansını iyileştirmek için mekansal bir dikkat mekanizması sunmaktadırlar. Önerilen ağ, uzun bir zamansal aralık boyunca nesnelerin en sağlam özelliklerini koruyan maskeyi tanımlayabilir. İki büyük ölçekli kıyaslama üzerinde yapılan kapsamlı deneyler, önerilen algoritmanın son teknoloji yöntemlere göre olumlu performans gösterdiğini göstermektedir.

Iliadis vd. (2020) çalışmalarında, video sıkıştırma algılaması için DeepBinaryMask olarak adlandırılan bir kodlayıcı-kod çözücü sinir ağı modeli önermişlerdir. Video sıkıştırma algılamasında, bir kare, kodlanmış maske sayısına eşit sayıda video karesinin yeniden oluşturulduğu bir dizi kodlanmış maske kullanılarak elde edilir. Önerilen çerçeve, algılama matrisinin video rekonstrüksiyonu ile eğitildiği uçtan uca bir modeldir. Kodlayıcı, algılama matrisinin ikili elemanlarını öğrenerek bir video bloğunu basınç ölçümleriyle eşler. Kod çözücü, çok katmanlı algılayıcı ağının birkaç gizli katmanı aracılığıyla bir video yamasından bir video bloğuna kadar ölçümleri eşlemek üzere eğitilir. Öngörülen video blokları, bilinmeyen video sekansını kurtarmak için birlikte birleştirilir. Yeniden yapılanma performansının, eğitilmiş algılama maskesi kullanıldığında, çok çeşitli sıkıştırıcı algılama rekonstrüksiyon algoritmalarına göre daha iyi performans sağladığını belirtmişlerdir.

Kanna vd. (2020), çalışmalarında tanığın sağladığı kimlik işaretlerine dayanarak, suçlu gözetim kameralarından suçluları tespit etmek için derin öğrenme kullanarak yeni bir akıllı metodoloji önermişlerdir. Bu yöntem, nesneyi video verilerinden kişi olarak bulmak için cinsiyet, gömlek deseni ve gözlük durumunu girdi olarak alır. Bu yöntemin performansı, video karesindeki kişiyi tanımlamada %87'lik bir doğruluk sağlamıştır. Li vd. (2020) çalışmalarında, bitki hastalıkları ve zararlılarının zamanında tespiti ve tahıl üretiminin artırılması için video algılama sistemi kurmuşlardır. Gelecekte gerçek zamanlı bitki hastalıkları ve zararlıları video algılama sistemi ile tespit etmek için özel bir yapıya sahip derin bir öğrenme tabanlı video algılama mimarisini önermişlerdir. Önce videoyu durağan kareye dönüştürerek çerçeveyi algılama için hareketsiz görüntü detektörüne göndermişler ve son olarak kareleri videoya sentezlemişlerdir. Hareketsiz görüntü detektöründe, çerçeve olarak Faster R-CNN, göreceli olarak bulanık videoları tespit etmek için görüntü eğitim modellerini kullanmışlardır. Ayrıca deneylerde video algılama kalitesini etkili bir şekilde yansıtan bir makine öğrenme sınıflandırıcısına dayanan bir dizi video tabanlı değerlendirme ölçütü önerilmiştir.

Nawaratne vd. (2020) çalışmalarında, gerçek zamanlı video gözetimi için anomali tespiti ve lokalizasyon zorluklarını ve sınırlamalarını ele almak için artımlı mekansal-zaman öğrenen (ISTL) modelini önermişlerdir. ISTL, zaman içinde gelişen yeni anomalileri ve normalligi sürekli olarak güncellemek ve ayırt etmek için bulanık kümelenme ile aktif öğrenmeyi kullanan denetimsiz bir derin öğrenme yaklaşımıdır. ISTL, üç karşılaştırma veri seti kullanılarak doğruluk, sağlamlık, hesaplama yükü ve bağlamsal göstergeler üzerinde gösterilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın deney sonuçlarına göre gerçek zamanlı video gözetimi için kullanılabilir ve uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Yang vd. (2020), çalışmalarında bulut bağlantılı araçlar ve engelli yayalara yardım gibi akıllı şehir kullanım durumlarını desteklemek amacıyla trafik kavşaklarındaki nesnelerin gerçek zamanlı olarak algılanması ve izlenmesi sorununu ele almaktadır. Bu çalışmada, veriler bulutla geliştirilmiş açık yazılım tanımlı test aracı (COSMOS) ile test edilmiştir. Yayaların güvenilir bir şekilde tespit edilmesinin araçlara göre çok daha zor olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada bu sorunun çözümü için tespit algoritması (Yolo, MaskR-CNN ve Tek Çekim Algılama) ve çoklu nesne izleme algoritması (Deep-Sort, Multicut ve Deep) performansına genel bir bakış sunmuşlardır. Çoklu nesne takip doğruluk oranları (MOTA) otomobiller için yaklaşık %73.2 ve yayalar için yaklaşık %2.8'dir. Araçların

tespiti/izlenmesi için 33.3 ms'lik bir gecikme hedefi belirlemişler ve böyle bir gecikme, 10 km/s hızla hareket eden araçlar için 0.1 metrelik mesafelere karşılık gelen araç konumlarının yararlı bir şekilde örneklenmesini sağlayacağını iddia etmişlerdir. Ayrıca kavşaklardaki yayalar araçlardan 3-10 kat daha yavaş hareket ettiğinden, yaya algılama gecikmelerinin araç gecikmelerinden 3-10 kat daha fazla olmasına izin verilebileceği sonucuna varılmıştır.

4. Derin Öğrenme ile Nesne Tespiti ve Nesne Takibi

Görüntülerden anlamlı bilgiler çıkarmak için görüntü işleme yöntemleri kullanılır. Videolar üzerinde tespit ve analiz sonrasında takip edilecek olan bir nesne varsa anlamlı bilgiler çıkarmak daha zordur. Bu gibi durumlarda derin öğrenme algoritmalarının kullanılması görüntü işleme problemlerinin kolaylıkla çözüme kavuşturulabilmesini sağlamaktadır. Görüntüler üzerinde nesnelerin hızlı bir şekilde tespitini gerçekleştiren ilk algoritma Viola Jones (Viola ve Jones, 2001) olmuştur.

Derin öğrenme ile nesne tespiti ve takibi alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak dört adım uygulanmaktadır. Bunlar;

- Ön işleme aşaması,
- Nesnenin tespiti,
- Nesnenin sınıflandırılması
- Nesnenin takibidir.

4.1. Ön İşleme

Belirlenen kategorilere göre oluşturulan veri setlerinde verinin işlenmeye hazır hale getirilmesi için yapılan ön işlemlerdir. Ön işleme, sistematik hataları düzeltmeye veya telafi etmeye çalışan sonraki analizler ve adımlar için veri hazırlayan işlemlerden oluşur. Dijital görüntüler, geometrik, atmosferik gibi çeşitli düzeltmelere tabi tutulur. Tüm bu düzeltmeler her durumda uygulanmayabilir. Bu hatalar sistematiktir ve kullanıma ulaşmadan önce kaldırılabilir.

4.2. Nesne Tespiti

Videolar üzerinde belirlenen nesne tespiti aşaması iki adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda nesne belirgin hale getirilir. İkinci adımda ise nesne arka plandan ayrılır. Görünüm ve şekle ilişkin özellikler genellikle nesne tespitinin temeli olarak kullanılır. Nesne tespiti, nesnenin izlenmesi için uygun bir algoritmanın seçimini belirleyen aşamadır. Nesne tespit aşaması sonraki aşamaların başarısını etkilediğinden daha fazla önem taşımaktadır.

Nesnenin tespiti ve takibinde kullanılan metotlar;

- R-CNN (Region Based Convolutional Networks),
- YOLO (You Only Look Once),
- SSD (Single Shot Multibox Detector),
- Mask R-CNN (Ozbaysar ve Borandag, 2018),
- Fast R-CNN,
- Faster R-CNN'dir.

R-CNN, iki yaklaşımı birleştirerek nesne tespiti yapmaktadır. Birincisi nesneye ait bölge önerileri çıkartmak, ikincisi ise bölge önerilerine konvolüsyonel sinir ağı uygulamaktır (Girshick vd., 2016). Çıkarılan bölge önerilerine Destek Vektör Makineleri (DVM) kullanılarak sınıflandırma yapılmaktadır (Daş vd., 2019).

YOLO, tek bir sinir ağı ile problemi uçtan uca optimize ederek doğrudan algılama performansına göre nesne tespiti yapmaktadır (Redmon vd., 2016). Özellikle son yıllarda nesne tespiti konusunda popüler olan algoritmalarındandır. Nesne tespitinde hız önemli bir kavramdır. YOLO'yu diğer algoritmalarından ayıran gerçek zamanlı nesne tespiti yapmasıdır.

SSD, tek bir derin sinir ağı kullanarak tek seferde nesne tanıma işlemi yapmakta ve Faster R-CNN'den daha hızlı çalışmaktadır (Liu vd., 2016). Diğer yöntemlerdeki eksiklikleri gidermek için bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmeler, SSD'nin daha düşük çözünürlüklü görüntüler kullanarak Faster R-CNN'nin doğruluğunu eşleştirmesini sağlayarak hızı yükseltir. SSD nesne algılama 2 bölümden oluşur:

- Özellik haritasının çıkarılması ve
- Nesneleri algılamak için evrişim filtrelerini uygulama.

Mask R-CNN, bölgesel tabanlı nesne tespit algoritmalarının en gelişmişidir. Verimli bir şekilde görüntülerdeki nesnelere algılarken nesnenin olduğu tüm pikselleri belirleyerek (Omeroglu vd., 2019) her örnek için yüksek kalitede segmentasyon maskesi oluşturur (He vd., 2017). Faster R-CNN'i nesne tanıma aşamasında kullanmaktadır.

Fast R-CNN, derin konvolüsyonel ağlar kullanarak önceki çalışmalardan yararlanıp nesne tespitini daha hızlı ve verimli bir şekilde yapmaktadır. Gerçek zamanlı nesne tespitinde başarısız olan R-CNN modelinin hız sorununu çözmek için geliştirilmiştir (Girshick, 2015). Fast R-CNN'nin R-CNN'den farkı ilk aşamada konvolüsyonel sinir ağı uygulaması ve oluşan özellik haritasına göre bölge önerilerini çıkartmasıdır. Sınıflandırma işlemi Softmax katmanı kullanılarak yapılır.

Faster R-CNN, bölge önerileri yaparak nesne tespiti gerçekleştiren R-CNN'deki çalışma zamanını azaltmayı amaçlayan Region Proposal Network (RPN) önerisiyle ortaya çıkmıştır (Ren vd., 2016). RPN ile Fast R-CNN modellerinin birleştirilmiş halidir. Nesnenin bulunduğu yeri giriş verisindeki görüntüyü sınıflandırma aşamasında bir kez kullanarak hesaplar. Nesne tespitinin performansını geliştirmek için evrişimsel katmanlar paylaşılır ve derin bir konvolüsyonel ağ eğitilebilir (Cömert vd., 2019).

4.3. Nesne Sınıflandırma

Nesnelere özelliklerine göre gruplandırmak için sınıflandırma işlemi uygulanmaktadır. Sınıflandırma işlemi yapılırken nesnenin kendine has öznelikleri kullanılmaktadır (Hanbay ve Üzen, 2017). Doku, eğim, zaman, renk ve hareket nesne sınıflandırmada en yaygın kullanılan özneliklerdir (Fan vd., 2016). Renge göre nesne sınıflandırmak etkili bir yöntemdir fakat ışık değişimine hassas olduğu için hesaplama zamanı yüksektir. Doku hesaplama zamanı ve doğruluk oranı yüksek bir özneliktir. İnsan takibi için eğim ve hareket özneliktir. Gürültüye karşı hassastır. Hareket ve zamansal değişimlerde hesaplama zamanı fazla olduğu için maliyet yüksektir.

Tablo 2’de sınıflandırma yöntemlerinin özneliklerine göre kıyaslanma durumları gösterilmiştir.

Tablo 2. Sınıflandırma için kullanılan özneliklerin kıyaslanması (Javed ve Shah, 2002; Hu vd., 2004)

Sınıflandırma Yöntemi	Maliyet	Başarı Oranı	Yorum
Şekil Tabanlı	Düşük	Orta	Işık değişimine hassas. Farklı şekillerde oluşan nesnelere zayıf.
Hareket Tabanlı	Yüksek	Orta	Farklı karelerdeki nesnelere tanıma başarılı.
Renk Tabanlı	Yüksek	Yüksek	Işık değişimine duyarlı.
Doku Tabanlı	Yüksek	Yüksek	Öznelik çıkarma aşaması fazla, maliyet yüksek.

4.4. Nesne Takibi

Nesneleri izlemek amacıyla kullanılan birçok farklı algoritma vardır. Bazı algoritmalar yalnızca tek nesne takibini gerçekleştirirken, bazıları birden fazla nesnenin izlenmesi için kullanılmaktadır. Nesne izleme için kullanılan algoritmalar geniş gruplara veya kategorilere ayrılabilir. Yaygın olarak kullanılan nesne takip yöntemleri 3 gruba ayrılmaktadır. Tablo 3’te kullanılan nesne takip yöntemleri ve özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 3. Nesne takibi için kullanılan yöntemler (Hanbay ve Üzen, 2017)

Nesne Takip Yöntemi	Kullanımı	İşlem Zamanı	Başarı
Nokta tabanlı	Deterministik model Olasılık modeli	Düşük-Orta Orta-Yüksek	Orta Orta
Çekirdek tabanlı	Çoklu görünüme dayalı Şablon tabanlı	Düşük-Orta Orta	Düşük Orta-Yüksek
Siluet tabanlı	Kontur gelişimi Şekil eşleştirme	Orta Yüksek	Orta-Yüksek Yüksek

Nokta tabanlı yöntem, algılanan nesnelere nokta olarak temsil edildiğinde kullanılır ve aydınlatma değişikliklerine duyarlı değildir. Çekirdek tabanlı yöntem ile nesneyi temsil etmek için kare, dikdörtgen gibi şekiller kullanılır. Nesne algılama yalnızca nesne sahnedeki ilk görüldüğünde gereklidir. Katı olmayan nesnelere arka planın tespit edilen çerçeve içerisinde görünmesi sorunu ortaya çıkabilir. Siluet tabanlı yöntemler nesnenin, silueti kullanılacağı zaman tercih edilir. Nesne algılama yalnızca nesne sahnedeki ilk görüldüğünde gereklidir. Çok çeşitli nesnelere başarılı bir şekilde takip

yapabilir. Nesne takibinde kullanılan fakat yaygın olmayan diğer yollara, bölge tabanlı izleme (Deori ve Meitei, 2014), kontur tabanlı izleme (Jacob and Anitha, 2012) ve sınır tabanlı izleme (Ojha ve Sakhare, 2015) örnek verilebilir.

4.5. Nesne Tespiti ve Takibi Veri Setleri

Uygulamanın içeriğine göre kullanılacak veri setleri değişmektedir. ImageNet (Deng vd., 2009), WordNet tabanlı yaklaşık 50 milyon etiketlenmiş temiz görüntü içeren veri kümesidir. Hiyerarşinin her bir düğümü binlerce resimle tasvir edilmektedir. ImageNet ölçek ve çeşitlilik açısından mevcut görüntü veri setlerinden çok daha büyüktür. Nesne tanıma, otomatik nesne kümeleme, görüntü sınıflandırma gibi uygulamalarda başarılı sonuçlar vermektedir.

Caltech101/256 (Griffin vd., 2007), MSRC (Shotton vd., 2006), PASCAL (Everingham vd., 2008), TinyImage (Torralba vd., 2008) küçük görüntülere ait veri setleri içermektedir. Buradaki görüntüler WordNet veri tabanında da saklanmaktadır. Wordnet’ten gelen anlamsal bilgilerle etiketleme görüntüsünün etkilerini en aza indirmek için en yakın komşu yöntemiyle birlikte kullanılır. Nesne sınıflandırması uygulamalarında özellikle insan gibi yaygın olarak kullanılan nesnelere başarılı sonuçlar alınmaktadır.

ESP (Ahn ve Dabbish, 2004), çevrimiçi oyun aracılığı ile kullanıcılar tarafından etiketlenen resimlerden oluşmaktadır. İnsanlar oyun sırasında onlar için anlamlı etiketler ile görüntülerin içeriklerini belirlerler. Görüntü etiketleme sorununu ele alarak eğlenceli bir şekilde webde bulunan tüm görüntüleri etiketleyebileceklerini tahmin etmektedirler. Çok az bir miktarda etiket ve görüntü kümesi haricinde halka açık değildir.

Lotus Hill ve LabelMe (Russell vd., 2008; Yao vd., 2007), yaklaşık 200 kategoriye sahiptir. Nesnelere ait etiket, konum gibi detaylı özellikleri içermektedir. ImageNet’e kıyasla daha az kategori ve veri setine sahiptir. LabelMe çizim arayüzü sayesinde etiketlenen görüntü özelliklerinin web üzerinde anında paylaşılmasına olanak tanır. Bu şekilde birçok platformdan etiketli görüntü kümeleri toplanmış olur. Lotus Hill, diğer veri etiketleme araçlarından daha farklı bir yöntem izleyerek 3 seviyede bilgiyi gruplamayı amaçlamıştır. Bu araç sayesinde genel amaçlar için kullanılacak 636.748’den fazla ek açıklamalı görüntü ve video karesinden oluşan bir veri tabanı oluşturmuşlardır.

MS-COCO (Lin vd., 2014), PASCAL-VOC (Everingham vd., 2010), KITTI (Geiger vd., 2012) silah, tabanca gibi küçük nesne algılama uygulamalarında kullanılan popüler veri kümelerindedir. MS-COCO nesne algılama sahne sorununun ele alınmasıyla yeniden oluşturulan bir veri kümesidir. 91 kategori, yaklaşık 328 bin görüntü ve 2,5 milyon etiketli örnekle nesne, kategori algılama, kümeleme sınıflandırma uygulamalarında kullanılmaktadır. KITTI, otonom bir sürüş platformu kullanarak oluşturulmuş, görüş görevi içeren, nesne algılama uygulamalarında kullanılan veri kümesidir. Veri kümesi, 3B sınırlayıcı kutularla açıklanmış 7481 eğitim görüntüsü içermektedir.

Pornografi-800 (Avila vd. 2013) ve Pornografi-2k (Moreira vd., 2016) ise cinsel içerikleri tespit etmek için kullanılacak veri kümesidir. Pornografi-2k Pornografi 800’ün bir uzantısıdır. Pornografi 800, yaklaşık 80 saat, 800 video, 400 pornografik ve 400 pornografik olmayan içerir. Pornografi içeriğine sahip videolar, bu tür içerik üzerinde uzmanlaşmış, çok çeşitli türlerde

örnekler arayan ve farklı etnik kökenlerden aktörlerle oluşturulmuş videolardan alınmıştır. Pornografi-2k, 6 saniyeden 33 dakikaya kadar değişen yaklaşık 140 saat, 1000 pornografik ve 1000 pornografik olmayan videodan oluşur. Herkese açık bir veri setidir.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada derin öğrenme yöntemleri kullanılarak nesne tespiti için yapılan uygulamalar incelenmiştir. Özellikle Konvolüsyonel Sinir Ağı tabanlı yöntemler ve Tekrarlı Sinir Ağı tabanlı yöntemlere ağırlık verilmiştir. Bu çalışmalara göre kullanılan mimariler, ağlar, kütüphaneler, algoritmalar, veri setleri ve modeller hakkında bilgiler sunulmuştur. Literatüre göre nesne tespit etmek için yaygın olarak kullanılan adımlar ön işleme, nesne tespiti, nesne sınıflandırma ve nesne takibidir. Ön işleme aşaması, tespit edilecek nesneye ait veri setinin bir sonraki adım için hazır hale getirilmesi işlemlerinden oluşur. Belirlenen nesneye göre kullanılacak olan veri seti kümesi de değişmektedir. Örneğin küçük nesnelere için TinyImage veri seti kullanılabilirken, cinsel unsurları tespit etmek için Pornografi-800 kullanılabilir. Oluşturulacak olan model, nesneye ait kendi çektiğimiz görüntüler kullanılarak eğitilebilir. İncelenen çalışmalarda nesne tespiti aşamasında en çok YOLO, Faster R-CNN ve SSD algoritmaları kullanılmıştır. Modeli eğitirken verinin fazla olması başarıyı arttıracaktır fakat işlem zamanını da arttırdığı için yavaşlamaya neden olacaktır. Özellikle R-CNN ve Fast R-CNN'nin çalışma yöntemine bakıldığında ilk aşamada nesnelere sınıflandırıp ardından konvolüsyonel sinir ağı uyguladığı için yavaş çalışmaktadırlar. Bu algoritmalarındaki hız sorununu çözmek için ise Faster R-CNN kullanılmaya başlanmıştır. SSD ve Faster R-CNN karşılaştırıldığında ise SSD, tek bir sinir ağı kullanarak nesne tespiti yaptığı için Faster R-CNN'den daha hızlı çalışmaktadır. Faster R-CNN'nin başarı oranı SSD algoritmasına göre daha yüksektir. Hem yüksek başarı oranı hem de hızın önemli olduğu uygulamalarda ise son yıllarda popüler olan YOLO kullanılmaktadır. Nesne sınıflandırma aşamasında tespit edilecek nesnenin özneliklerine göre sınıflandırma yöntemi de değişiklik göstermektedir. Renk ve doku tabanlı yöntemlerin daha yüksek başarı oranı sağladığı görülmüştür. Nesne takibi sırasında ise Kalman Filtresi yöntemi daha sık kullanılmıştır. İzlenecek nesneye göre uygulanacak sinir ağı modeli de değişiklik gösterecektir. Çoklu nesne izleme yapılacaksa Deep-Sort, Deep, Multicut algoritmaları, uygunsuz görüntülerin tespiti için de ResNet-50 kullanılması önerilmiştir.

Kaynakça

Amidi, A., Amidi, S. (2020). Derin Öğrenme El Kitabı. Derin Öğrenme El Kitabı: <https://stanford.edu/~shervine/l/tr/teaching/cs-229/cheatsheet-deep-learning> adresinden alındı.

Avidan, S. (2004). Support Vector Tracking. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1064-1072, doi:10.1109/TPAMI.2004.53.

Avila, S., Thome, N., Cord, M., Valle, E., De A. Araújo, A. (2013). Pooling in image representation: The visual codeword point of view. Computer Vision and Image Understanding, 453-465, doi: 10.1016/j.cviu.2012.09.007.

Bewley, A., Ge, Z., Ott, L., Ramos, F., Upcroft, B. (2016). Simple online and realtime tracking. Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP, 3464-3468, doi: 10.1109/ICIP.2017.8296962.

Bolouri, H. (1995). Book Review: Fundamentals of Neural Networks — Architectures, Algorithms, and Applications: L. FAUSETT. International Journal of Electrical Engineering Education, doi: 10.1177/002072099503200320.

Brocardo, M., Traore, I., Woungang, I., Obaidat, M. (2017). Authorship verification using deep belief network systems. International Journal of Communication Systems, doi: 10.1002/dac.3259.

Brunetti, A., Buongiorno, D., Trotta, G., Bevilacqua, V. (2018). Computer vision and deep learning techniques for pedestrian detection and tracking: A survey. Neurocomputing, doi: 10.1016/j.neucom.2018.01.092.

Cbinsights, C. (2019). The Race For AI: Here Are The Tech Giants Rushing To Snap Up Artificial Intelligence Startups. 2020 tarihinde CBINSIGHTS adresinden alındı.

Chaudhary, S., Khan, M., Bhatnagar, C. (2018). Multiple Anomalous Activity Detection in Videos. Procedia Computer Science, 336-345, doi: 10.1016/j.procs.2017.12.045.

Cheng, X., Song, C., Gu, Y., Chen, B. (2020). Learning Attention for Object Tracking with Adversarial Learning Network, doi: 10.21203/rs.3.rs-15512/v3.

Ciaparrone, G., Luque Sánchez, F., Tabik, S., Troiano, L., Tagliaferri, R., Herrera, F. (2020). Deep learning in video multi-object tracking: A survey. Neurocomputing, 61-88, doi: 10.1016/j.neucom.2019.11.023.

Collobert, R., Farabet, C., Kavukcuoğlu, K. (2017). Torch | Scientific computing for LuaJIT. NIPS Workshop on Machine Learning Open Source Software.

Cortes, C., Vapnik, V. (1995). Support-Vector Networks. Machine Learning, doi: 10.1023/A:1022627411411.

Cömert, O., Hekim, M., Adem, K. (2019). Faster R-CNN Kullanarak Elmalarda Çürük Tespiti. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 335-341, doi: 10.29137/umagd.469929.

Daş, R., Polat, B., Tuna, G. (2019). Derin Öğrenme ile Resim ve Videolarda Nesnelere Tanınması ve Takibi. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 571-581, doi: 10.35234/fumbd.608778.

DeepLearning4j. (2020). DeepLearning4j: <https://deeplearning4j.org/> adresinden alındı.

Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., Li, F. (2009). ImageNet: a Large-Scale Hierarchical Image Database. 2009 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2009), 20-25, doi: 10.1109/cvpr.2009.5206848.

Deng, L., Yu, D. (2013). Deep learning: Methods and applications. Foundations and Trends in Signal Processing, 197-387, doi: 10.1561/20000000039.

Deori, B., Meitei, D. (2014). A survey on moving object tracking in video. International Journal on Information Theory, 31-46, doi: 10.5121/ijit.2014.3304.

Everingham, M., Van Gool, L., Williams, C., Winn, J., Zisserman, A. (2008). The PASCAL Visual Object Classes Challenge 2008 (VOC) Results. <http://www.pascal-network.org/challenges/VOC/voc2008/workshop/index.html> adresinden alındı.

Fu, K., Li, Y., Sun, H., Yang, X., Xu, G., Li, Y., Sun, X. A. (2018). Ship Rotation Detection Model in Remote Sensing Images Based on Feature Fusion Pyramid Network and Deep Reinforcement Learning. Remote Sens., 10, 1922.

- Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological Cybernetics*, 193-202, doi: 10.1007/BF00344251.
- Geiger, A., Lenz, P., Urtasun, R. (2012). Are we ready for autonomous driving? the KITTI vision benchmark suite. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 3354-3361, doi: 10.1109/CVPR.2012.6248074.
- Gibney, E. (2016). Google AI algorithm masters ancient game of Go. *Nature*, doi: 10.1038/529445a.
- Girshick, R. (2015). Fast R-CNN. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 1440-1448, doi: 10.1109/ICCV.2015.169.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., Malik, J. (2016). Region-Based Convolutional Networks for Accurate Object Detection and Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 142 – 158, doi: 10.1109/TPAMI.2015.2437384.
- Griffin, G., Holub, A., Perona, P. (2007). Caltech-256 object category dataset. Caltech mimeo.
- Hanbay, K., Üzen, H. (2017). Nesne tespiti ve takip metotları: Kapsamlı bir derleme. *Tr. Doğa ve Fen Dergisi*.
- Havaei, M., Davy, A., Warde-Farley, D., Biard, A., Courville, A., Bengio, Y., . . . Larochelle, H. (2017). Brain tumor segmentation with Deep Neural Networks. *Medical Image Analysis*, 18-31, doi: 10.1016/j.media.2016.05.004.
- He, K., Gkioxari, G., Dollar, P., Girshic, R. (2017). Mask R-CNN. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2961-2969, doi: 10.1109/ICCV.2017.322.
- Hinton, G., Osindero, S., Teh, Y.-W. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Computation*, 1527-1554, doi: 10.1162/neco.2006.18.7.1527.
- Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1997). LONG SHORT-TERM MEMORY. *Neural Computation*, 1735-1780, doi: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
- Iliadis, M., Spinoulas, L., Katsaggelos, A. (2020). DeepBinaryMask: Learning a binary mask for video compressive sensing. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, doi: 10.1016/j.dsp.2019.102591.
- Ivakhnenko, A., Lapa, V. (1965). *Cybernetic predicting devices*. CCM Information Corporation.
- Jacob, A., Anitha, J. (2012). Inspection of various object tracking techniques. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 118-124, doi: 10.17605/OSF.IO/Y5K3H.
- Jia, Y., Shelhamer, E., Donahue, J., Karayev, S., Long, J., Girshick, R., . . . Darrell, T. (2014). Caffe: Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding. *Computer Science > Computer Vision and Pattern Recognition*, doi: 10.1145/2647868.2654889.
- Keras: The Python Deep Learning API. (2020). Keras: The Python Deep Learning API: <https://keras.io/> adresinden alındı.
- Kim, D. (2020). DeepLearning Method For Voice Recognition Model And Voice Recognition Device Based On Artificial Neural Network.
- Kim, S., Nam, J., Ko, B. (2018). Online Tracker Optimization for Multi-Pedestrian Tracking Using a Moving Vehicle Camera. *IEEE Access*, 48675-48687, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2867621.
- LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W., Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*, 1(4), 541-551.
- Leijnen, S., Veen, F. (2020). *The Neural Network Zoo*. *Proceedings*, 9.
- Li, D., Wang, R., Xie, C., Liu, L., Zhang, J., Li, R., . . . Liu, W. (2020). A recognition method for rice plant diseases and pests video detection based on deep convolutional neural network. *Sensors*, Switzerland, doi: 10.3390/s20030578.
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., . . . Zitnick, C. (2014). Microsoft COCO: Common Objects in Context. *European Conference on Computer Vision*, 740-755.
- Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., C. Berg, A. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector. *European Conference on Computer Vision*, 21-37, doi: 10.1007/978-3-319-46448-0_2.
- Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng, N., Liu, Y., Alsaadi, F. (2017). A survey of deep neural network architectures and their applications. *Neurocomputing*, doi: 10.1016/j.neucom.2016.12.038.
- Lu, Y., Lu, C., Tang, C. (2017). Online Video Object Detection Using Association LSTM. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2344-2352, doi: 10.1109/ICCV.2017.257.
- Luo, W., Xing, J., Milan, A., Zhang, X., Liu, W., Zhao, X., Kim, T.-K. (2014). Multiple Object Tracking: A Literature Review. *Computer Vision and Pattern Recognition*, doi: 10.1016/j.artint.2020.103448.
- Mark, E., Van Gool, L., Williams, C., Winn, J., Zisserman, A. (2010). The pascal visual object classes (VOC) challenge. *International Journal of Computer Vision*, 303-338, doi: 10.1007/s11263-009-0275-4.
- McCulloch, W., Pitts, W. (1988). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Neurocomputing*, 15-27, doi: 10.1016/s0092-8240(05)80006-0.
- Medsker, L., Jain, L. (2001). *Recurrent Neural Network Design and Applications*. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press.
- Mikada, T., Kanno, T., Kawase, T., Miyazaki, T., Kawashima, K. (2020). Suturing Support by Human Cooperative Robot Control Using Deep Learning. *IEEE Access*, 167739-167746, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3023786.
- Moreira, D., Avila, S., Perez, M., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., . . . Rocha, A. (2016). Pornography classification: the hidden clues. *Forensic Science International*, 46-61, doi: 10.1016/j.forsciint.2016.09.010.
- Nawaratne, R., Alahakoon, D., De Silva, D., Yu, X. (2020). Spatiotemporal anomaly detection using deep learning for real-time video surveillance. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, doi: 10.1109/TII.2019.2938527.
- NVIDIA DIGITS. (2020). NVIDIA DEVELOPER: <https://developer.nvidia.com/digits> adresinden alındı.
- Omeroglu, A., Kumbasar, N., Oral, E., Ozbek, I. (2019). Mask R-CNN Algoritması ile Hangar Tespiti. *27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, doi: 10.1109/siu.2019.8806552.
- O'Shea, K., Nash, R. (2015). *An Introduction to Convolutional Neural Networks*. *Neural and Evolutionary Computing*.
- Ojha, S., Sakhare, S. (2015). Image processing techniques for object tracking in video surveillance-a survey. In *Pervasive*

- Computing (ICPC), 2015 International Conference on, 1-6, doi: 10.1109/PERVASIVE.2015.7087180.
- Ozbaysar, E., Borandag, E. (2018). Vehicle plate tracking system. 26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, 1-4, doi: 10.1109/SIU.2018.8404648.
- Perez, M., Avila, S., Moreira, D., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., . . . Rocha, A. (2017). Video pornography detection through deep learning techniques and motion information. *Neurocomputing*, 279-293, doi: 10.1016/j.neucom.2016.12.017.
- Prasad, P., Pathak, R., Gunjan, V., Rao, H. (2019). Deep Learning Based Representation for Face Recognition. *ICCCE*, 419-424, doi: 10.1007/978-981-13-8715-9_50.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779-788, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- Ren, S., He, K., Girshick, R., Sun, J. (2016). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1137 – 1149, doi: 10.1109/TPAMI.2016.2577031.
- Russell, B., Torralba, A., Murphy, K., Freeman, W. (2008). LabelMe: A database and web-based tool for image annotation. *International Journal of Computer Vision*, 157-173, doi: 10.1007/s11263-007-0090-8.
- Salakhutdinov, R., Hinton, G. (2009). Replicated softmax: An undirected topic model. *Advances in Neural Information Processing Systems 22 - Proceedings of the 2009 Conference*, 1607-1614.
- Saleem, M., Potgieter, J., Arif, K. (2019). Plant Disease Detection and Classification by Deep Learning. *Plants*, 8(11):468, doi: doi:10.3390/plants8110468.
- Sarkar, M., Bruyn, A. (2020). LSTM Response Models for Direct Marketing Analytics: Replacing Feature Engineering with Deep Learning. *Forthcoming in Journal of Interactive Marketing*, doi: 10.2139/ssrn.3601025.
- Sejnowski, T., Rosenber, C. (1986). NETtalk: a parallel network that learns to read aloud. *The Johns Hopkins University Electrical Engineering and Computer Science Technical Report*.
- Shetty, D., Varma, J., Navi, S., Ahmed, M. (2020). Diving Deep into Deep Learning: History, Evolution, Types and Applications. *The International Journal on Media Management*, 2278-3075, doi: 10.35940/ijitee.A4865.019320.
- Shotton, J., Winn, J., Rother, C., Criminisi, A. (2006). TextonBoost: Joint Appearance, Shape and Context Modeling for Multi-class Object Recognition and Segmentation. *European Conference on Computer Vision*, 1-15, doi: 10.1007/11744023_1.
- Singla, Z., Randhawa, S., Jain, S. (2017). Statistical and sentiment analysis of consumer product reviews. *8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1-6, doi: 10.1109/ICCCNT.2017.8203960.
- Sorin, V., Barash, Y., Konen, E., Klang, E. (2020). Deep Learning for Natural Language Processing in Radiology—Fundamentals and a Systematic Review. *Journal of the American College of Radiology*, 639-648.
- Sun, W., Zheng, B., Qian, W. (2017). Automatic feature learning using multichannel ROI based on deep structured algorithms for computerized lung cancer diagnosis. *Computers in Biology and Medicine*, 530-539, doi: 10.1016/j.combiomed.2017.04.006.
- Şeker, A., Diri, B., Balık, H. (2017). Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 47-64.
- TensorFlow. (2020). TensorFlow: [https://www.tensorflow.org/adresinden alındı](https://www.tensorflow.org/adresinden%20alındı).
- Theano Development Team. (2016). Theano: A Python framework for fast computation of mathematical expressions. *arXiv e-prints*, vol. abs/1605.02688.
- Toğaçar, M., Ergen, B. (2019). Biyomedikal Görüntülerde Derin Öğrenme ile Mevcut Yöntemlerin Kıyaslanması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- Toğaçar, M., Ergen, B., Sertkaya, M. (2019). Zatürre Hastalığının Derin Öğrenme Modeli ile Tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- Torralba, A., Fergus, R., Freeman, W. (2008). 80 million tiny images: A large data set for nonparametric object and scene recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1958-1970, doi: 10.1109/TPAMI.2008.128.
- Turing, A. (2012). Computing machinery and intelligence. *Machine Intelligence: Perspectives on the Computational Model*, 433-460, 10.1093/mind/lix.236.433.
- Verma, G., Dhillon, A. (2017). A Handheld Gun Detection using Faster R-CNN Deep Learning. *ACM International Conference Proceeding Series*, 84-88. doi:10.1145/3154979.3154988.
- Vignesh Kanna, J., Ebenezer Raj, S., Meena, M., Meghana, S., Mansoor Roomi, S. (2020). Deep Learning Based Video Analytics for Person Tracking. *International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering, ic-ETITE 2020*, doi: 10.1109/ic-ETITE47903.2020.173.
- Viola, P., Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, doi: 10.1109/cvpr.2001.990517.
- Von Ahn, L., Dabbish, L. (2004). Labeling images with a computer game. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 319-326, doi: 10.1145/985692.985733.
- Wallach, I., Dzamba, M., Heifets, A. (2015). AtomNet: A Deep Convolutional Neural Network for Bioactivity Prediction in Structure-based Drug Discovery.
- Wang, D. (1998). Unsupervised video segmentation based on watersheds and temporal tracking. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 539-546, doi: 10.1109/76.718501.
- Yang, S., Bailey, E., Yang, Z., Ostrometzky, J., Zussman, G., Seskar, I., Kostic, Z. (2020). COSMOS Smart Intersection: Edge Compute and Communications for Bird's Eye Object Tracking. *IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom)*, 1-7, doi: 10.1109/PerComWorkshops48775.2020.9156225.
- Yang, X., Sun, H., Fu, K., Yang, J., Sun, X., Yan, M., Guo, Z. (2018). Automatic Ship Detection in Remote Sensing Images from Google Earth of Complex Scenes Based on Multiscale Rotation Dense Feature Pyramid Networks. *Remote Sens.*, 10, 132.

- Yao, B., Yang, X., Zhu, S. (2007). Introduction to a large-scale general purpose ground truth database: Methodology, annotation tool and benchmarks. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 169-183, doi: 10.1007/978-3-540-74198-5_14.
- You, L., Li, Y., Wang, Y., Zhang, J., Yang, Y. (2016). A deep learning based RNNs model for automatic security audit of short messages. 2016 16th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2016, doi: 10.1109/ISCIT.2016.7751626.
- Yousefi-Azar, M., Hamey, L. (2017). Text summarization using unsupervised deep learning. *Expert Systems with Applications*, doi: 10.1016/j.eswa.2016.10.017.
- Yu, F., Li, W., Li, Q., Liu, Y., Shi, X., Yan, J. (2016). POI: Multiple object tracking with high performance detection and appearance feature. *European Conference on Computer Vision*, 36-42, doi: 10.1007/978-3-319-48881-3_3.
- Yuret, D. (2016). Julia ve Knet ile Derin Öğrenmeye Giriş. Julia ve Knet ile Derin Öğrenmeye Giriş: <http://www.denizyuret.com/2016/09/julia-ve-knet-ile-derin-ogrenmeye-giris.html> adresinden alındı.
- Zhang, L., Gray, H., Ye, X., Collins, L., Allinson, N. (2019). Automatic individual pig detection and tracking in pig farms. *Sensors (Switzerland)*, doi: 10.3390/s19051188.
- Zhao, D., Fu, H., Xiao, L., Wu, T., Dai, B. (2018). Multi-object tracking with correlation filter for autonomous vehicle. *Sensors (Switzerland)*, doi: 10.3390/s18072004.



Tarihi Yapılarda Yeniden İşlevlendirme Süreçlerine Sistemik Bir Yaklaşım; Atik Valide Külliyesi Örneği

İzzettin Kutlu^{1*}, Ruşen Ergün²

^{1*} Mardin Artuklu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mardin, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5546-5548), izzettinkutlu@artuklu.edu.tr

² Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5253-3245), rusen.ergun@dicle.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 02 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.889402)

ATIF/REFERENCE: Kutlu, İ. & Ergün, R. (2021). Tarihi Yapılarda Yeniden İşlevlendirme Süreçlerine Sistemik Bir Yaklaşım; Atik Valide Külliyesi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 172-184.

Öz

Tarihi yapılar; toplumun kültürü, mimarisi, sosyo-ekonomik durumu, yaşayış biçimi gibi bölge geçmişine dair bilgi veren önemli eserlerdir. Fakat zaman içerisinde iklim ve kullanım koşullarına bağlı olarak doğal veya insan kaynaklı nedenlerden bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bozulmalara karşı ayakta kalabilen tarihi yapılar, aynı işlevle korunarak restore edilebilmekte veya çağdaş döneme ayak uydurabilmeleri adına eski kullanımının dışında farklı olarak yeniden işlevlendirilebilmektedir. Bu çalışmanın amacı da tarihi yapıların özelliklerine göre müdahalelerin ve işlev değişikliklerinin mimari uyumluluğunu belirlemektir. Çalışmada, Mimar Sinan'ın son eseri olarak bilinen Atik Valide Külliyesindeki birimlerin inşa edildiği dönemden günümüze kadar geçirmiş olduğu değişimler araştırılmıştır. Çalışmanın yöntemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada veri toplama yöntemi kullanılarak Atik Valide Külliye yapılarının özgün ve mevcut durum özellikleri değerlendirilmiştir. İkinci aşamada ise iz sürme yöntemi ile tarihi yapılarda değişen kütle ve işlev ilişkileri tespit edilmiştir. Tarihi külliye yapılarında işlev değişiklikleri çizelgeler oluşturularak dönemlere ayrılmıştır. Yapılardaki dönemseller müdahalelerin, önemli bir mimari miras olan külliye yapılarına olumlu ve olumsuz yaklaşımları; çeşitli uluslararası koruma ölçütlerinin maddeleri referans alınarak işlevsel performans, süreç performans ve çevresel performans kriterleri başlığında değerlendirilmiştir. Uygulanan yöntem, ortaya çıkan kültürel miras etki değerlendirmesi alanına bir katkı olarak ve yerel yönetimlere değerlendirme için sunulan belirli kültürel miras varlık projelerini değerlendirmek için bilimsel yardım olarak düşünülebilir. Sonuç olarak; kültürel değeri olan bir külliye özelinden tarihi yapı geneline yapılacak olan işlev değişikliklerinde, yapının kütleli ölçeği ile uyumlu olmayan dönüşümler yerine; yapının tümüyle orantılı uyumlu bir işlevin seçilmesi, yeni işlevin tarihsel örüntü duygusunu tamamlaması ve yapının korunmasına katkıda bulunması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atik Valide Külliyesi, Mimar Sinan, Mimari miras koruma, Performans değerlendirme kriterleri.

A Systematic Approach for Re-Using Processes in Historical Buildings; Example of Atik Valide Kulliyeh

Abstract

Historical buildings are important works that provide information about the past of the region such as the culture, architecture, socio-economic status and lifestyle of the society. However, over time, depending on the climate and conditions of use, deterioration may occur from natural or human causes. Historical buildings that can survive against deterioration can be preserved and restored with the same function, or they can be re-using differently than their original use in order to adapt to the contemporary period. The aim of this study is to determine the architectural compatibility of interventions and functional changes according to the characteristics of historical buildings. In the study, the changes that the Atik Valide Kulliyeh, known as the last work of Mimar Sinan, has been investigated from the time it was built to the present day. The method of the study consists of two stages. In the first stage, the original

* Sorumlu Yazar: izzettinkutlu@artuklu.edu.tr

and current status characteristics of the Atik Valide Külliye structures were evaluated using the data collection method. In the second stage, changing mass and function relationships in historical buildings were determined by tracing method. Schedules of functional changes in historical külliye buildings are divided into periods. The positive and negative approaches of the periodic interventions in the buildings to the külliye structures, which are an important architectural heritage; It has been evaluated under the heading of functional performance, process performance and environmental performance criteria, taking as reference the articles of various international protection criteria. The method applied can be considered as a contribution to the emerging field of cultural heritage impact assessment and as scientific assistance to assess specific cultural heritage property projects submitted to local governments for appraisal. As a result, reusing in historical buildings, a function that is compatible with the whole structure should be selected, unlike transformations that are not compatible with the mass scale of the building. It is concluded that the new function should complement the sense of historical pattern and contribute to the preservation of the structure.

Keywords: Atik Valide Külliye, Architect Sinan, Conservation of architectural heritage, Performance evaluation criteria.

1. Giriş

Anadolu'da yapım faaliyetlerinin en etkin olduğu dönem, Mimar Sinan'ın Hassa Mimarlar Ocağı'nın başında bulunduğu 1538-1588 Osmanlı yıllarıdır. Dönemin yapıları, hem tasarımların üstün düzeyi ve amaca uygunlukları hem de iş gücünün ve malzeme kaynaklarının iyi örgütlenmesiyle başarıya ulaşmıştır. Mimar Sinan Osmanlı Devleti'nde yaptığı mimarlık görevi boyunca, yapılarında gerçekleştirdiği deneyler ve getirdiği yenilikler ile Türk mimarlık tarihinin en büyük ismi olarak anılmaktadır (Ahunbay, 1988a).

1489-90 yıllarında Kayseri-Ağırnaz ilçesinde doğan Mimar Sinan, babasının yanında taş ustası ve marangoz olarak çalışmış, 1512'de Yeniçeri ocağına katılmıştır. Bu katılım sonrasında, Osmanlı sarayına ve özellikle Kanuni Süleyman'a (hükümdarlık dönemi 1520-66) ömrü boyunca hizmet etmiştir. İnşaa faaliyetleri, Osmanlı İmparatorluğu'nun altın çağını yaşadığı döneme denk gelmesinden son derece elverişli koşullarda başlamıştır. Kariyerinin başlangıcında, ilk İslam imparatorluklarının sütunlu veya İran-İslami dört eyvanlı camilerinin aksine Bizans etkisinde kubbeli camiler inşa etmiştir (Rabb, 2013). Özellikle büyüklüğü, mimari tasarımı ve sembolik gücü nedeniyle Ayasofya, Mimar Sinan'a ilham veren en önemli yapılardan biri olmuştur. Sinan mimarlık sürecinde; 79 cami, 34 saray, 33 hamam, 19 türbe, 55 okul, 16 imarethane, 7 medrese, 12 kervansaray, tahıl ambarları, çeşmeler, su kemerleri ve hastaneler yapmıştır (Britannica, 2020).

Sinan'ın 'çiraklık eseri' olarak adlandırdığı ve 1548 yılında inşası tamamlanan Şehzade Camii, Sinan'ın ilk önemli mimari organizasyonlarından. İstanbul'daki Süleymaniye Camii ise 1550-57 yıllarında inşa edilmiş ve Mimar Sinan tarafından 'kalfalığının' en önemli eseri; 1569-75 yıllarında inşa ettiği Edirne'deki Selimiye Camii'yi ise 'ustalık' döneminin en büyük eseri olarak adlandırmıştır (Yılmaz, 2001). Bu çalışmada incelenen Atik Valide Külliyesi, Selimiye Camii'nin inşa edildiği dönemde yapımına başlansa da tamamlanma tarihi göz önüne alındığında Mimar Sinan'ın son eseri özelliğini taşımaktadır (Altıntaş, 2020).

Mimar Sinan hakkında yapılan çok sayıda çalışma olsa da, son eseri Atik Valide Külliyesi özelinde yapılan, yapısal özelliklerin tanımlandığı ve yapıların değişim süreçlerinin ele alındığı güncel bir çalışma bulunmamaktadır (Tablo I).

Tablo I. Mimar Sinan ve eserleri hakkında yapılan çalışmalar

Yapı Tipi	Yazarlar	Çalışmanın Adı
Camiler	Sadan, Bal and Smyrou, 2007	<i>Structural Analysis of Istanbul Beyazıt II Mosque Retrofitted by Mimar Sinan</i>
	Yağlı, 2010	<i>Mimar Sinan'ın Şehzade, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin tektonik karakterlerinin çözümlenmesi</i>
	Tuncer, 2014	<i>Mimar Sinan camilerinde kubbenin akustik açıdan belgelenmesi: Kadırga Sokollu Mehmet Paşa camii örneği</i>
	E. Sönmez, 2015	<i>Mimar Sinan'ın Şehzade, Süleymaniye ve Selimiye Camilerindeki birim hücrelerden üreyen geometrik desenlerin çözümlenmeleri</i>
	Çıplak, 2017	<i>Mimar Sinan yapılarının inşa tekniğini anlamak: Lüleburgaz Sokollu Mehmed Paşa Camisi örnek çalışması</i>
	Kaygısız, 2019	<i>Mimar Sinan Camilerinden Şemsi Ahmet Paşa Camii (Üsküdar) ile T.C. Diyanet İşleri Başkanlığı Tip 3 Camii'nin akustik açıdan karşılaştırılması</i>
Külliyeler	Polat, 2020	<i>Mimar Sinan dönemi camileri içerisinde yer alan Diyarbakır İskender Paşa Caminin önemi ve koruma sorunları</i>
	A. Yılmaz, 2001	<i>Osmanlı Mimarisinde Külliye Olgusu ve Atik Valide Külliyesi Örneği</i>
	Akgün, 2005	<i>16. yy. Osmanlı kenti İstanbul'da kent içi konumlarına göre Mimar Sinan'ın külliye gruplarında yer seçimi etmenlerinin tespiti ve analizi</i>
Hamamlar	N. Sönmez, 2010	<i>Mimar Sinan yapısı menzil külliyelerinden; İzmî Pertev Paşa Külliyesi</i>
	Ertuğrul, 2002	<i>Mimar Sinan'ın İstanbul'daki mevcut hamamları</i>
	Demirdal, 2014	<i>İstanbul'da işlev değişikliğine uğramış Mimar Sinan Hamamları: Ortaköy hamamı örneği</i>
Medreseler	İpekçi, 2016	<i>Mimar Sinan tarafından İstanbul'da inşa edilen Çinili Hamam'ın sıva özellikleri</i>
	Dinçel, 1995	<i>İstanbul'daki Mimar Sinan dönemi medreseleri genel değerlendirmesi ve Kılıç Ali Paşa Medresesi</i>
	Alkan, 2007	<i>İstanbul Mimar Sinan Dönemi Külliyesi İçinde Medreselerin Yeri</i>

		ve ' Edirnekapı Mihrimah Sultan Medresesi '
	Benli, 2016	<i>Hospitals in the Ottoman Period and the Work Of Sinan the Architect: Suleymaniye Külliye Dar Al-Shifa and the Medical Madrasa</i>
	Sekitmez, 2019	<i>Istanbul Mimar Sinan dönemi medreseleri ve Üsküdar Mihrimah Sultan medresesi koruma ve işlev sorunları</i>
Türbeler	Kaynar, 2019	<i>Restorasyon uygulamaları sonrasında önleyici koruma metodolojisinin Mimar Sinan dönemi türbeleri üzerinde irdelenmesi</i>
Eğitim Yapıları	Ahunbay, 1988b	<i>Mimar Sinan Eğitim Yapıları</i>
	Balcan, 2018	<i>Mimar Sinan'ın İstanbul külliyelerinde yer alan sıbyan mektepleri ve koruma sorunları</i>
Köprüler	Alaboz, 2008	<i>Mimar Sinan köprülerinin güncel durum değerlendirmesi ve Kapuağası köprüsü restorasyon projesi</i>

2. Materyal ve Metot

2.1. Metot

Atik Valide külliyesi; cami, darüşşifa, sıbyan mektebi, darulhadis, medrese, imaret, tabhane, tekke, kervansaray ve hamam olmak üzere 10 farklı işlevdeki yapıyı barındırması ile Anadolu'da bir külliye farklı işlevdeki birçok yapıyı bir arada bulunduran külliyeler özelliğini taşımaktadır.

Bu makalede iki adet nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla veri toplama ve iz sürme yöntemleridir. Veri toplama yöntemi, araştırma konusunu sonuca ulaştıracak bilgilerin elde edilmesi amacıyla kullanılan araştırma tekniğidir. Araştırma konusuna göre veri toplama, doküman incelenmesi, anket, görüşme, gözlem, deney gibi farklı yollarla gerçekleştirilebilir (Symon & Cassell, 1998; Yıldırım, 1999). İz sürme yöntemi veya süreç izleme yöntemi ise bir durumun nedensel durumlarının sürecin de dahil edilerek incelendiği nitel araştırma yöntemidir. Hem veri toplama hem de örneklem çalışmalarının güvenilirliğini sağlayan iz sürme yöntemi, belirli bir zaman diliminde ilgili araştırma konularının örgütsel süreçlerinin tanımlar. Araştırmaya konu olan sürecin özel durumları örneklenerek ölçütler oluşturulur (Bennett & Elman, 2006: İşçi, 2008).

Çalışmada, Atik Valide külliyesindeki yapıların dönem içerisinde dönüşümleri araştırılmış ve bu dönüşümlerin Carta Del Restauro (1931), Venedik Tüzüğü (1964), Washington Tüzüğü (1987), Burra Tüzüğü (1999) ve ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü 1999-Uygulama İlkeleri kapsamında performans analiz değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu çalışmada her birimin işlevsel ve süreç performans değerlendirmeleri ayrı ayrı yapılmış olup çevresel performans değerlendirmesi külliyesinin tüm birimleri için ortak olarak ele alınmıştır.

2.1. Materyal

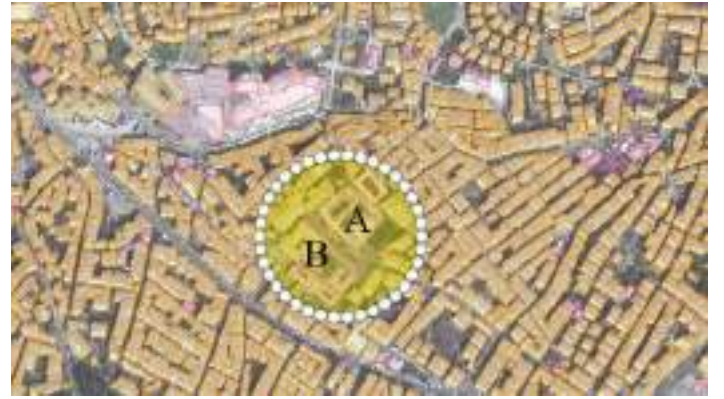
Atik Valide veya Valide-i Atik külliyesi olarak bilinen yapı 1570'li yıllarda Nurbanu Sultan tarafından Mimar Sinan'a yaptırılmıştır (Çalışmada Atik Valide Külliyesi ismi kullanılacaktır). Bu yapı Mimar Sinan'ın son eseri olarak

bilinmektedir. Farklı işlevdeki yapıların bir arada inşa edildiği külliyelerden olan Atik Valide, İstanbul'un Üsküdar ilçesinde yer almaktadır (Eriş & Yüzereroğlu, 2013; Katkak, 2016; Tanman, 1991; Kutlu & Sever, 2017).

Atik Valide Külliye'si 1979 yılında tescil edilmiş ve 1992 yılında külliye ve yakın çevresi sit alanı ilan edilmiştir (Ekimci, 2011). Külliye Atik Valide Mahallesi, Tekkeönü sokak ile Eski toptaşı caddesi arasında kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan alanda bulunmaktadır. Külliye, aralarında Toptaşı Meydan sokağın bulunduğu iki yapı grubundan oluşmaktadır. Cami, medrese, tekke bir grupta (A grubu), sıbyan mektebi, imaret, darüşşifa, hamam, tabhane ve kervansaray bir grupta bulunmaktadır (B grubu, Şekil 1a-b).



a



b

Şekil 1. Üsküdar - a) Külliyesinin Üsküdar İlçesinde bulunduğu konumu, b) Atik Valide Külliye yapıları (Yandex haritalardan derlenmiştir)

Külliye Güneybatı'ya doğru eğimin arttığı bir yamacın üzerine konumlandırılmıştır. Yamacın en üst kotuna Cami, en alt kotuna ise kervansaray konumlandırılmıştır (Şekil 2a-b). Yılmaz (2001), külliye'deki birimlerin yamacın toplamda 4 farklı kotuna konumlandığını belirtmektedir. Üst kottan alt kota doğru;

1. Kot: Cami ve Medrese
2. Kot: Tekke, Darulhadis ve Mektep
3. Kot: Darüşşifa ve İmaret
4. Kot: Kervansaraylar bulunmaktadır (Yılmaz, 2001).

2.2.1. Cami

Külliyenin en yüksek kotuna 1571-1583 yılları arasında inşa edilen yapı, altı dayanaklı cami grubuna girmektedir (Kuran, 1988). Cami altıgen şeklinde merkezi planlı olarak inşa edilmiştir (Konyalı, 1977). Caminin harimini yaklaşık 12 metre çapındaki kubbe örterken her iki yanında 2'şer tane yarım ve tam kubbe mevcuttur. Cami, yaklaşık 56 x 43 m ölçülerinde dikdörtgen plan tipindedir. Yapının 5 kubbe ile örtülü son cemaat ve üst örtüsü kubbe ile sıralı revaklarla çevrelenmiş bir avlusu bulunmaktadır.

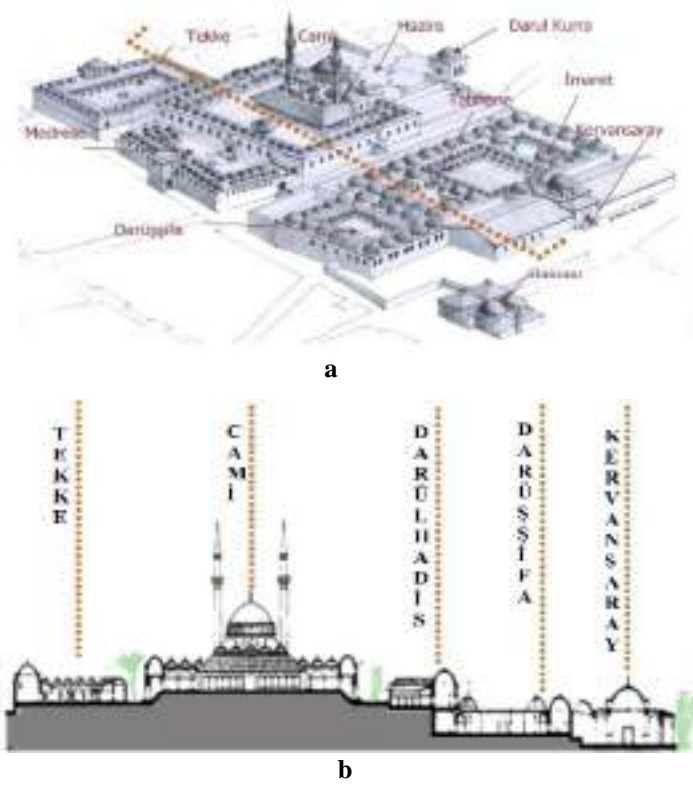
Avlu sınırlarını oluşturan revakların üst örtüsü 40 kubbeden oluşurken hünkar dairesinin eklenmesiyle 2 tanesi yıkılmıştır (Nemlioğlu, 2004). Toplam 3 adet giriş kapısı bulunan yapının ana girişi kuzey yönündeki taç kapıdan sağlanmaktadır.

Cami ve avlu beden duvarları kesme küfeki taşından; ana giriş kapısı, kemerler, mihrap ve minber ise beyaz mermerden inşa edilmiştir. Caminin tavan ve duvarlarında kalem işi bezemeler mevcuttur.

Kuban (1961) günümüz cami planının 4 aşamada meydana geldiğini belirtmektedir. Bu aşamaları da aşağıdaki şekilde belirtmiştir:

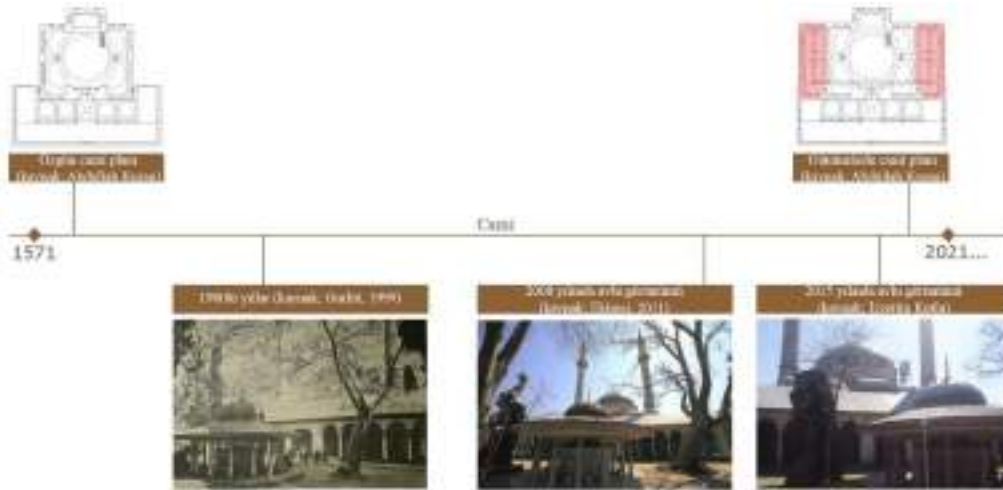
1. Caminin ilk yapımı,
2. Yan sahan ve son cemaat revaklarının eklenmesi,
3. Yan sahanların ileri çıkarılması,
4. Hünkar dairesi ve mahfelinin eklenmesi.

Kuran (1988) ise yan sahanların ileri çıkarılmasının farklı bir dönem olduğunu gösteren kanıtların olmamasından toplam 3 aşamadan oluştuğunu belirtmiştir (Kuran, 1988). Yapı çeşitli dönemlerde onarımlar geçirmiş olsa da cami işlevini sürdürmektedir (Şekil 3).



Şekil 2. Atik Valide Külliyesi - a) Külliye yapılarının birbirlerine göre bulunduğu izometrik gösterim (URL-1), b) Kot farklarının gösterildiği külliye kesiti (A. Yılmaz, 2001'den derlenmiştir.)

Külliyede cami, darüşşifa, sıbyan mektebi-darülhadis, medrese, imaret, tabhane, tekke (hankah), kervansaray ve hamam olmak üzere toplam 10 farklı yapı türü mevcuttur.



Şekil 3. Atik Valide Külliyesi – Caminin onarım dönemleri

2.2.2. Darüşşifa

Darüşşifa, İslam devletlerinde hastanelere verilen genel isimdir (Terzioğlu, 1992). Külliye'nin kuzeybatı yönünde konumlanmış olan darüşşifa, 1579 yılında tamamlanmıştır. Yapının ana girişi kuzey cephesindeki kemerli bir kapı iken dönemsel müdahalelerde tabhane ile arasında bulunan yola açılan bir kapı eklenmiştir (Eriş & Yüzereroğlu, 2013; Katkık, 2016). Yapı yaklaşık 35x45 metre ölçülerinde dikdörtgen planlı bir avlunun etrafına dizilmiş mekanlardan oluşmaktadır. Avlu yaklaşık 0.35cm'lik farka sahip iki ayrı kotta konumlanmıştır.

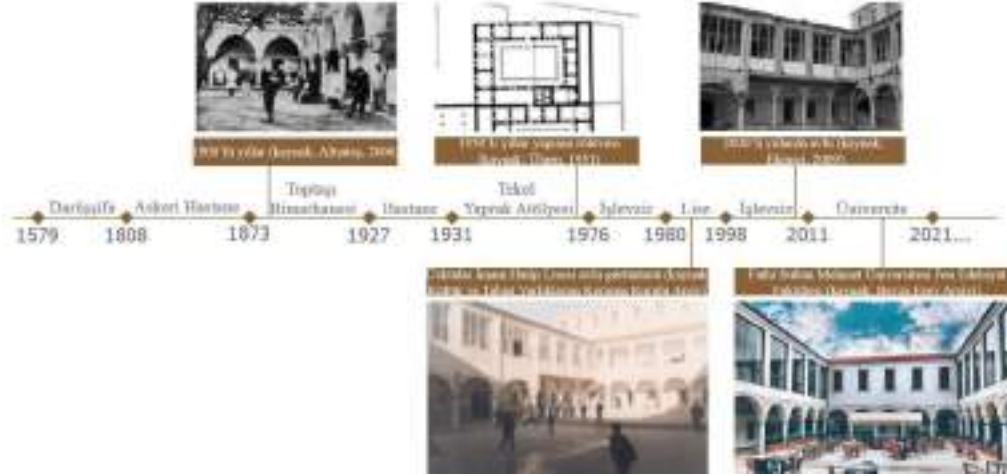
Avlunun etrafındaki mekanlar günümüzde 2 katlı olsa da yapının özgün halinin tek katlı ve kubbeli olduğu mevcut izlerden tespit edilebilmektedir. Avlu 20 kemerli bir revakla sınırlandırılmıştır.

Yapı beden duvarları kesme küfeki taşından, kubbe ve tonozlar tuğladan revakların oturduğu sütunlar ise mermerden inşa edilmiştir.

Yapı inşa edildiği dönemlerde tam teşekküllü bir hastane olarak işlev görmüştür. Sultan II. Mahmud döneminde Asâkir-i Hassa Toptaşı adıyla askeri hastane olarak kullanılmıştır. 1873 yılında yeniden işlevlendirilerek 1927 yılına kadar Toptaşı

Bimarhanesi adıyla akıl hastanesi olarak kullanılmıştır. Bimarhane işlevi verildiği ilk yıllar olan 1874-1881 yılları arasında hasta sayısını kaldırarak kapasitede olmadığı için yeni bölümler eklenmiştir. Külliye'nin darülhadis yapısı da bu yıllar arasında Bimarhane'nin bir bölümü olarak işlevlendirilmiştir. Kadın ve erkeklerin farklı koşullarda olduğu bimarhanenin hasta sayının artmasıyla her iki koşul türüne de yeni eklemeler yapılmıştır. 1910 yılında kolera salgınının başlamasıyla âtil duruma düşen bimarhaneye, 1922 yılında yeni bölümler eklenerek onarılmış ve bimarhane olarak kullanıma devam

edilmiştir. 1927 yılında bimarhanenin Bakırköy'e nakledilmesiyle yapı ilk işlevine benzer şekilde hastane olarak kullanıma açılmıştır. Darüşşifa 1931 yılında Tekel Yaprak Tütün Bakım Atölyesi olarak işlevlendirilmiş ve 1976 yılına kadar bu şekilde kullanılmıştır. Atölyenin yer değiştirmesi sonucunda 1980-1999 yılları arasında Üsküdar İmam Hatip adıyla lise olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapı 2011 yılından beri Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi olarak kullanılmaktadır (Şekil 4, Artvinli, 2013; Ekimci, 2011; Yılmaz, 2001).



Şekil 4. Atik Valide Külliyesi – Darüşşifa yeniden işlevlendirilme dönemleri

2.2.3. Sıbyan Mektebi-Darülhadis

Sıbyan mektepleri özellikle dini eğitim ve Kur-an'ı Kerim dersi vermek amacıyla inşa edilen yapılardır. Bu yapılar külliye'nin bir parçası olarak tasarlandıklarında, külliye'nin en uç noktasına, girişi sokağa konumlandırılacak şekilde inşa edilmiştir. Buradaki amaç külliye'deki kişilerin çocuk sesinden rahatsız olmasını engellemektir (Dikmen ve Toruk, 2017; Yılmaz, 2009). Atik Valide Külliyesi'nin içindeki sıbyan mektebi ve darülhadis duvarları bitişik şekilde inşa edilmiştir. Kuzeybatı-güneydoğu aksında uzanan yapı bloğunun güneydoğu

ucunda mektep bulunmaktadır. Yapı caminin güneybatısına, avlusu camiye görecek şekilde inşa edilmiştir.

Mektep 18. yüzyıl başlarında kütüphane, 1873-1927 yılları arasında Toptaşı Bimarhanesi olarak işlevlendirilmiştir. Yaklaşık 20 yıllık dönemde işlevsiz kalan yapı 1950 yılında Toptaşı Cezaevi'nin bölümü olarak kullanılmıştır. Özellikle cezaevi olarak kullanıldığı dönemde önemli değişiklikler yapıp özgün mimarisini genel anlamda yitiren yapının, 2017 yılında yeniden restorasyon çalışmalarına başlanmıştır (Şekil 5, Balcan, 2018; Ekimci, 2011).



Şekil 5. Atik Valide Külliyesi – Sıbyan mektebi yeniden işlevlendirilme dönemleri

Darülhadis İslam ülkelerinde hadis eğitiminin verildiği yapılardır (Kalaç, 2020). Atik Valide Külliyesindeki darülhadise, cami avlusundan kemerli bir kapı ile girilmektedir. Girişin sağ ve solunda revaklı iki avlu mevcuttur. Revaklar sütunları birbirine bağlayan sivri kemerlerden oluşmaktadır. Revaklardan geçilerek ulaşılan sınıflar, birer kapı ve pencere ile avluya

açılmaktadır. Yapının imaret ve darüşşifaya bakan cepheleri tuğla kemerlerle geçilmiş çift sıra pencerelerden oluşmaktadır.

Yapılan incelemelerde yapının tarihi kesin olmayan bir dönemde üstüne kat çıkıldığı ve üst örtüsünün tamamen yenilediği tespit edilmiştir (Ekimci, 2011).

Darülhadis 1873-1927 yılları arasında Toptaşı Bimarhanesi'nin erkekler koğuşunun bir bölümü olarak kullanılmıştır. Yapı 1950 yılında ise Toptaşı Cezaevi kullanımına tahsis edilmiştir (Ekimci, 2011; Yılmaz, 2001). 2011 yılında

tezyini sanatlar kursu olarak işlevlendirilen yapı günümüzde İlim Kültür Araştırma ve Yardımlaşma Derneği olarak kullanılmaktadır (Şekil 6).



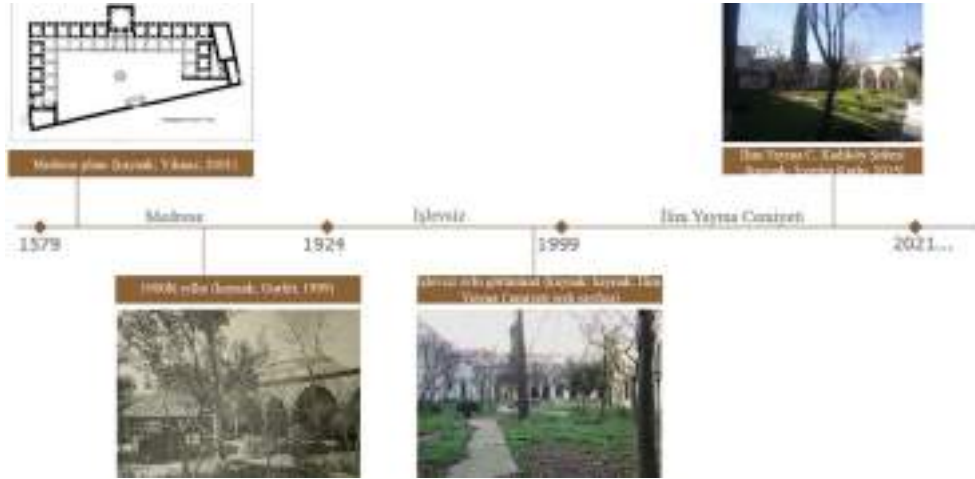
Şekil 6. Atik Valide Külliyesi – Darulhadis yeniden işlevlendirilme dönemleri

2.2.4. Medrese

Cami avlusunun kuzeyinde, 19 basamaklı merdiven ile inilen medrese avlusuna çapraz tonozlu kapıyla erişilmektedir. Medreseye ayrıca üç farklı kapıdan daha giriş sağlanmaktadır. Avlunun ortasında özgün halinde; saçaklı, sekizgen, mermer bir şadırvan ve cami avlu duvarına yakın kuyu bulunmaktadır. Medresenin, üç farklı yolun birleştiği parselde inşa edilmesi nedeniyle kuzeydoğu bölümü, güneybatı bölümüne oranla daha uzundur. Avlunun üç tarafını saran 19 talebe odası ve bu odaların önünde toplamda 17 mermer sütunun taşıdığı, kubbeli revak bölümleri bulunmaktadır (Şekil 7).

Yapı 1924 yılında medreselerin kapatılmasıyla işlevsiz kalmıştır. Uzun zaman bakımsız kaldığı bu süreç içerisinde en büyük fark, avlunun ortasında bulunan şadırvanda görülmüştür. Özgün durumunda ahşap ayaklı ve örtülü şadırvanın, örtüsü günümüzde bulunmamaktadır.

Yapı 2005 yılında özgün haline yakın bir şekilde restore edilerek İlim Yayma Cemiyetinin Kadıköy şubesi olarak yeniden işlevlendirilmiş ve günümüzde de aynı işlev ile kullanılmaktadır (Şekil 7; Yılmaz,2001).



Şekil 7. Atik Valide Külliyesi- Medrese yeniden işlevlendirilme dönemleri

2.2.5. İmaret ve Tabhane

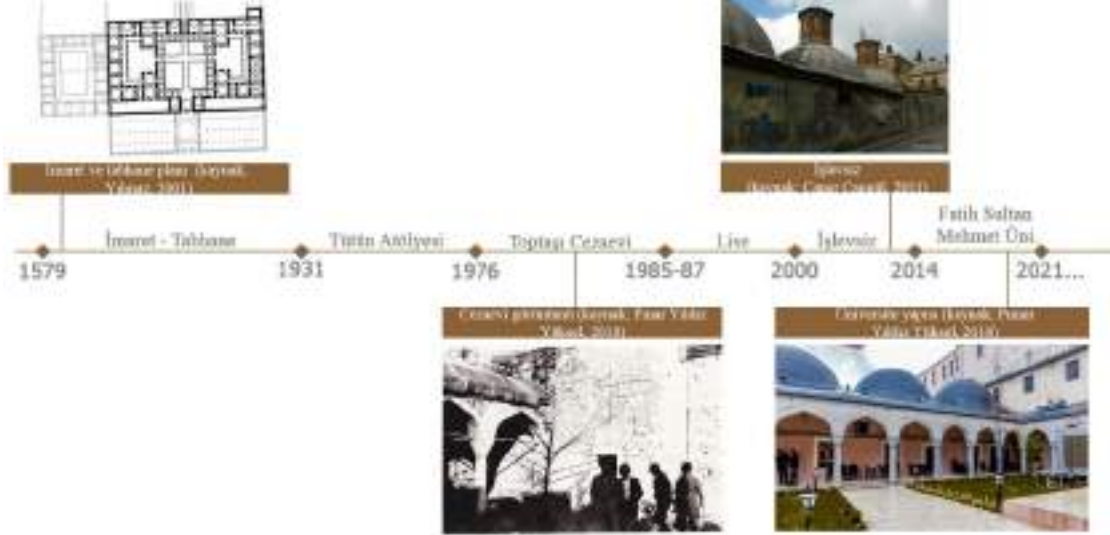
İmaret; Osmanlı döneminde yoksullara, fakirlere ve bulunduğu yerdeki medrese öğrencilerine yiyecek dağıtan kurumdur. Bu kurum, günümüzde de halen devam eden bir kavram olan aşevi anlamında kullanılmıştır (Demir, 1998). Tabhane ise Osmanlı döneminde inşa edilen misafirhane yapılarıdır. Bu misafirhaneler, hasta, yorgun, işsiz vb. ihtiyaç sahibi kişilerin barındıkları yerlerdir (Erkan, 2005).

Atik Valide külliyesinde bulunan imaret yapısı, kuzeyinde tabhane ve güneyinde aşhane ile ortak kullanılan bir orta avludan oluşmaktadır. Cami-medrese aksına paralel ancak arazinin eğiminden daha alt kotta konumlandırılmıştır. İmaret yapısına, Toptaşı Caddesi üzerindeki kervansaray ile ortak bir kapıdan erişilmektedir. Avlunun üç kenarı revaklar ile çevrilidir. Orta avlunun kuzeyinde tabhane, güneyinde ise aşhane yer almaktadır ve her iki mekâna da basık kemerli kapılar ile erişilmektedir. Aşhanede, havalandırma fenerli 6 kubbe ile örtülmüş mutfak bulunmaktadır. Yemeklerin pişirildiği aşhane ile servis edildiği

tabhane planları benzerlik gösterse de tabhane kubbeleri, ihtiyaç olmadığından fenersiz düzenlenmiştir.

1900'lü yılların başına kadar imaret yapısında, yemek pişmiş ve dağıtımı yapılmıştır. 1931 yılında darüşşifa yapısı ile imaret ve aşhaneyi oluşturan birimler Tekel Yaprak Tütün Bakım Atölyesine dönüştürülmüştür. Bu dönüşümün ardından yapı 1976 yılında Toptaşı Cezaevi olarak işlevlendirilmiş ve 1985 yılına kadar bu işleyle kullanıma devam edilmiştir. Yapı 1987

yılında ise İmam Hatip Lisesi olarak kullanıma açılmıştır. Bu kullanımlar sırasında, aşhanenin fırınlarının yıkılması, bölücü duvar eklenmesi, revakların ve aşhane hücrelerinin kapatılması gibi yapının özgün durumunda hasarlara neden olabilecek büyük değişimler meydana gelmiştir (Ekimci, 2011). Bu müdahaleler neticesinde tabhane bulunan bazı revaklar tamamen yıkılmıştır. İmaret yapısı 2014 yılı itibarıyla Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi tarafından kullanılmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Atik Valide Külliyesi – İmaret ve Tabhane yeniden işlevlendirilme dönemleri

2.2.6. Tekke

Tekke; aynı inanca bağlı kişilerin bir araya geldikleri, beraber barındıkları ve din eğitimi aldıkları yerlerdir (Kara, 2008). Bu yapılar da imarethaneler gibi Osmanlı Devleti zamanında yaşlı ve muhtaçlara yardım etme yeri olarak da kullanılmıştır (Öztürk, 2019). Atik Valide Külliyesi yapılarının en doğusunda, Valide Kahyası ve Tekkeönü Sokakları'nın birleşiminde tekke yapısı bulunmaktadır. Cami ve medrese yapısından bir sokakla ayrılan yapıda, parsel sınırları nedeniyle kuzey yönünde genişleyen yamuk planlı ve revaklar ile çevrili avlu mekanı bulunmaktadır. Yapıda mevcut 33 adet küçük oda ile bir adet büyük odanın tamamı kubbe ile örtülmüştür.

Tekke, tarikatların yasaklandığı ve kapatıldığı 1925 yılına kadar özgün işlevine devam etmiştir. Ardından uzun süre bakımsız ve işlevsiz kalan tekke yapısı yoksul ve kimsesiz

ailelerin barındığı bir yapıya dönüşmüştür (Ekimci, 2011). Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından 1960'lı yıllarda restorasyon çalışması ile İlim Yayma Derneği Öğrenci Yurdu olarak işlevlendirilmiş ve 1980'li yıllara kadar aynı işleyle kullanılmıştır (Yılmaz, 2001). Yapı 2007 yılında 10 yıllığına Üsküdar Belediyesine devredilmiştir. Restorasyon projeleri tamamlanan yapı 2009 yılında Nakkaş Tezyini Sanatlar Merkezi olarak yeniden işlevlendirilmiştir (Ekimci, 2011). Dönüşüm süreçlerinde, geri dönüştürülemeyen en büyük hasarı avlunun merkezinde bulunan şadırvanın aldığı görülmektedir. Yapının 20.yüzyılın başlarına tarihlenen fotoğraflarında orta avluda şadırvan ve üzerini kapatan sundurma bir çatının olduğu ancak 1960'lı yıllarda şadırvanın tamamen kaldırıldığı tespit edilmiştir. Revakları ahşap doğramalı elemanlar ile kapatılan yapının, 2007 yılında hazırlanan restorasyon projeleri kapsamında özgün hali ile uyumlu bir dönüşüm gerçekleştirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Atik Valide Külliyesi – İmaret ve Tabhane yeniden işlevlendirilme dönemleri

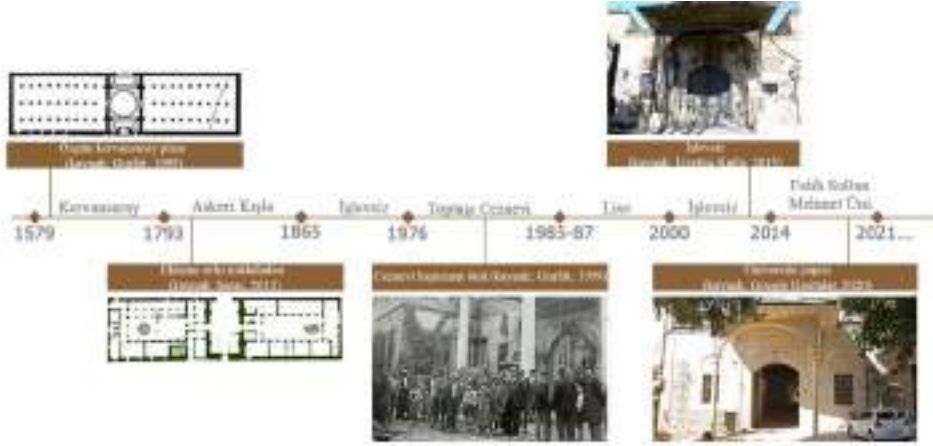
2.2.7. Kervansaray

Doğu ticaret yollarının İstanbul'a ulaştığı ilk merkez olan Üsküdar, aynı zamanda kervanların da Doğu'ya doğru hareket etmeye başladığı ilk yerdir. Bu özelliği sayesinde Üsküdar'ın ticari hayatını geliştirmek amacıyla bölgeye çok sayıda han ve kervansaray inşa edilmiştir. Ancak bunlardan günümüze ulaşan sadece Mimar Sinan'ın son eseri Atik Valide Külliyesinin kervansarayıdır. II. Mahmud, 1834 yılında Atik Valide Sultan külliyesinin darüşşifa ve kervansaray yapılarını restore ettirmiştir. Kervansarayın giriş kapısının önündeki iki sütunun taşıdığı saçak, Sultan Mahmud tarafından yaptırılmıştır. Kervansarayın giriş kapısı Toptaşı Caddesi üzerinde yer almakta ve imaret girişi olarak da kullanılmaktadır (Yılmaz, 2001).

Kervansaraya giriş yapıldığında önce simetrik olarak yapıyı ikiye bölen ve etrafı duvarlarla çevrilmiş üzeri kubbe ve tonozlar

ile örtülü taşlık mekanına erişilmektedir. Orta aksından simetrik olması nedeniyle 'çifte kervansaray' olarak da tanımlanmaktadır.

Özgün durumunda kuzey ve güney yönünde dikdörtgen formda bulunan iki kütlede oluşan kervansaray yapısı 19. yüzyılda büyük değişikliklere uğramıştır. Kışla olarak kullanıldığı 1793-1865 yıllarında, yapının sadece dış beden duvarları korunmuş; her iki dikdörtgen planlı mekana avlu ve yeni bir kat eklenmiştir. Bu durum, yapının özgün durumu ile ilgili bilgilerin günümüze ulaşmasına engel olmuştur (Saraç, 2012). Bir dönem külliyenin diğer yapıları gibi Toptaşı Cezaevi olarak kullanılan yapı, bunun ardından uzun yıllar işlevsiz kalmıştır. Yapı 1976 yılında Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından Milli Eğitim Bakanlığı'na devredilmiş ve Üsküdar İmam Hatip Lisesi olarak kullanılmıştır (Ekimci, 2011). Günümüzde Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi tarafından eğitim yapısı olarak kullanılmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Atik Valide Külliyesi – İmaret ve Tabhane yeniden işlevlendirilme dönemleri

2.2.8. Hamam

"Çifte hamam" olarak düzenlenmiş olan yapı, doğu-batı doğrultusunda simetrik olarak yerleştirilmiş soyunmalıklar, birer sofa ile halvetten oluşan soğukluk ve sıcaklıklardan oluşmaktadır. Toptaşı Caddesine cephesi olan soyunmalıklar, dükkan olarak kullanılmaktadır. Hamam, 1970'li yılların başına kadar marangoz atölyesi olarak kullanılmış ve Vakıflar İdaresi tarafından 1985 yılında restore edilerek özgün işlevinde tekrar faaliyete geçirilmiştir (Şekil 16; Tanman, 1991).

Yapılan restorasyon ve müdahale çalışmalarında, fil gözleriyle aydınlatılan sıcaklık bölümünün üzeri kurşunla kaplanmıştır. Geniş, ışıklı bir kubbenin kapattığı sıcaklık kısmında dört halvet, üç eyvan bulunmaktadır. Ortada sekizgen biçimli göbek taşı bulunmaktadır. Kadınlar kısmının sıcaklık duvarları mozaikle kaplanmıştır. Günümüzde işlevine uygun hizmet vermeye devam eden hamam, Toptaşı Hamamı, Valide Sultan Hamamı ve Orta Valide Hamamı olarak da bilinmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Atik Valide Külliyesi – Hamam yapısının yeniden işlevlendirilme dönemleri

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Atik Valide külliyesinin birimleri uluslararası koruma ölçütleri bağlamında işlevsel, süreç ve çevresel analiz performans kriterlerine göre Tablo 2, 3, 4'te görüldüğü şekilde değerlendirilmiştir.

3.1. İşlevsel Performans Değerlendirmesi

Altınoluk (1998) tarihi bir yapıya verilen işlevin yapıya uygunluğunun araştırıldığı işlevsel performans değerlendirmesinde; yapının iç mekan ölçüleri, mekanların konumlanması, mekanlar arası sirkülasyon kriterlerine dikkatedilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Lutzendorf vd. (2005) ise bu değerlendirme yapılırken yapı ve mekanlarının verilen işleve uygunluğu, mekanların esnekliği ve yapı kullanıcılarının mevcut yaşam koşullarına uygunluğuna dikkat edilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Bu çalışmada külliye birimlerine inşa edildikleri dönemden günümüze kadar verilen çeşitli işlevlerin ilgili uluslararası koruma ölçütlerinin ilgili maddeleri bağlamında işlevsel performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu bağlamda birimlere verilen işlevlerin günümüze kadar yapıya olumlu ve olumsuz etkileri değerlendirilmiştir (Tablo 2, Ek-1).

Tablo 2. Uluslararası koruma ölçütleri bağlamında külliye birimlerinin dönemsel işlevsel performans değerlendirmeleri

Kriter	Yapı	Açıklama		İlgili Uluslararası Koruma Ölçütü
		Olumlu yaklaşım	Olumsuz yaklaşım	
İşlevsel Performans	Cami	• İnşa tarihinden günümüze kadar gerçek işleviyle kullanılması,	-	• Carta Del Restauro-Madde 4
	Darüşşifa	• 1873-1931 yılları arasındaki işlev değişikliklerinde de sağlık yapısı olarak kullanılması,	• Özgün işlevi ile uyumlu olmayan; 1931 yılında Tekel yaprak ve tütün atölyesi, 1980'den günümüze kadar ise eğitim yapısı olarak kullanılması,	• Venedik Tüzüğü-Madde 5
	Sıbyan Mektebi-Darülhadis	• 18. yy başında sıbyan mektebinin gerçek işlevine benzer olan kütüphane olarak kullanılmış olması, • Darülhadis'in günümüzde gerçek işlevine yakın ilim kültür araştırma ve yardımlaşma derneği olarak kullanılması,	Mektebin 20 yıl boyunca işlevsiz bırakılarak terk edilmesi, ayrıca özgün işlevine uygun olmayan bimarhane ve cezaevi olarak işlevlendirilmesi,	• ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü 1999-Uygulama İlkeleri Madde 1.5
	Medrese	• Günümüzde özgün durumuna yakın restore edilerek yeniden işlevlendirilmesi,	• 1924 yılında medreselerin kapatılması ile uzun yıllar boyunca yapının işlevsiz kalması ve süreç içerisinde avlunun ortasında bulunan şadırvanın yıkılması,	
	İmaret ve Tabhane	• İmaret yapısı 2014 yılı itibarıyla Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi tarafından özgün durumuna uygun halde restore edilerek yeniden işlevlendirilmesi,	• Yapıların özgün durumuna uygun olmayan yeniden işlevlendirilmeleri sonucunda; aşhanenin fırınlarının yıkılması, denetimsiz onarımlar uygulanması, bölücü duvarlar eklenmesi, aşhane hücrelerinin uyumsuz müdahalelere maruz bırakılması, bazı revakların kapatılarak kapı ve pencere elemanlarının uygulanması gibi yapının özgün durumunda hasarlara neden olabilecek büyük değişimler meydana getirilmesi,	
	Tekke	• Yapının 2007 yılında hazırlanan restorasyon projeleri kapsamında özgün haline uygun bir dönüşüm ile yeniden işlevlendirilmesi,	• 1925 yılına kadar özgün işlevine devam eden yapının tekkelerin kapatılması ile fakir ailelerin barındığı bir yapıya dönüştürülmesi, • Bu dönüşüm sırasında revak bölümlerinin kapatılması ve şadırvanın özgün üst örtüsünün yıkılması,	
	Kervansaray	-	• Kışla olarak kullanıldığı dönemde yapının sadece dış beden duvarlarının korunması; özgün durumu ile uyumlu olmayan, her iki dikdörtgen planlı mekana avlu ve yeni bir kat eklenmesi,	
	Hamam	• Uzun yıllar farklı işlevlerde kullanılan yapının, 1985 yılında özgün işlevi ile yeniden kullanılmaya başlanması,	• Kubbede, fil gözleriyle aydınlatılan sıcaklık bölümünün üzerinin kurşun ile kaplanması, • Soyunmalıkların betonarme olarak iki kat halinde özgün durumuna uygun olmadan inşa edilmesi, • Kadınlar kısmının sıcaklık duvarlarının mozaikle kaplanması,	

3.2. Süreç Performans Değerlendirmesi

Lützkendorf vd. (2005) bir yapının süreç performans değerlendirmesini, yapının inşa edildiği dönemden itibaren, mimari plan ve projesinde meydana gelen değişimlerin incelendiği en önemli performans değerlendirme kategorilerinden biri olarak açıklamaktadır.

Ergün ve Halaç (2021) yapmış oldukları çalışmada yapının süreç performansının değerlendirilmesinde projelendirme ve onarım kriterlerini baz almıştır. Yapının inşa edildiği tarihten günümüze kadar olan değişimlerin yapı gerçeklerine

uygunluğunu rölöve, restitüsyon ve restorasyon projeleri bağlamında analiz etmiştir.

Bu çalışmada külliye birimlerinin inşa edildikleri dönemden günümüze kadar yapılan onarım, yenileme, terk edilme gibi durumlarda yapıda meydana gelen değişimlerin literatür taramaları ve dönem görselleri baz alınarak ilgili uluslararası koruma ölçütlerinin ilgili maddeleri bağlamında süreç performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu bağlamda geçmişten günümüze birimlerde meydana gelen değişimlerin yapıya olumlu ve olumsuz etkileri değerlendirilmiştir (Tablo 3, Ek-1).

Tablo 3. Uluslararası koruma ölçütleri bağlamında külliye birimlerinin dönemsel süreç performans değerlendirmeleri

Kriter	Yapı	Açıklama		İlgili Uluslararası Koruma Ölçütü	
		Olumlu yaklaşım	Olumsuz yaklaşım		
Süreç Performans	Cami	<ul style="list-style-type: none"> Yapı iç mekan sirkülasyonunu olumsuz yönde etkileyecek seviyede bir değişikliğin yapılmaması, 	<ul style="list-style-type: none"> Yapıda yıkım yapılarak yan sahan ve son cemaat yeri gibi eklemelerin yapılmış olması, Yapılan değişikliklerin yapının inşa edildiği ilk plan özelliklerinde önemli değişikliklere neden olması ve bu değişikliklerin yapı gerçek planının nasıl olduğuna dair anlaşmazlıkların dahi oluşmasına sebep olması, Yapılan onarımların özgünden ayırt edilememesi, Yapı dış mekan duvarında kararma ve bitkilenmelerin meydana gelmesi, Yeterli düzeyde önlem alınmaması sonucu çalınan çinilerin yerine yapı tarihine uygun olmayan çinilerin eklenmesi, Yapılan onarımların özgünden ayırt edilememesi, 	<ul style="list-style-type: none"> Carta Del Restaura-Madde 1, 7, 9 Venedik Tüzüğü-Madde 12 Washington Tüzüğü Madde 8 	
	Darüşşifa	-	<ul style="list-style-type: none"> Yapının giriş kapısı kemerlerinin yok edilmiş olması, Yapıya verilen yeni işlevler sonucunda işleve uygun yeni bir giriş kapısının açılması, Yeni işlev yeterliliği için üst kat ve çeşitli bölümlerin eklenmiş olması, Yapıya uygun işlev seçiminin aksine verilen işleve göre tarihi yapının şekillendirilmiş olması, Yapı duvarlarının tarihi yapı malzemesine uygun olmayan boyayla boyanmış olması, Yapıya plastik yağmur iniş boruları ve tabelaların eklenmesi, 		
	Sıbyan Mektebi-Darülhadis	-	<ul style="list-style-type: none"> Sıbyan mektebinin özellikle cezaevi olarak kullanımı sırasında önemli mimari değişikliklerin yapılmış olması, 	<ul style="list-style-type: none"> Şadırvana ait taşıyıcıların yıkılması, 	
	Medrese	<ul style="list-style-type: none"> Yeniden işlevlendirilme süreçlerinde yapının strüktürel olarak hasar görmemesi, 			
	İmaret ve Tabhane	-	<ul style="list-style-type: none"> Bazı revaklı bölümlerin tamamen yıkılması sonucu yapının strüktürel olarak dayanımının azalma ihtimali, 		
	Tekke	<ul style="list-style-type: none"> Taşıyıcı elemanların özgün olmayan eklerden arındırılması, 	<ul style="list-style-type: none"> Revaklı bölümlere yapılan eklemeler sonucunda taşıyıcı sisteminin hasar görmesi, 		
	Kervansaray	<ul style="list-style-type: none"> Yapıda önemli değişikliklerin yapıldığı sırada dış beden duvarlarının korunması, 	<ul style="list-style-type: none"> Yapının kışla amacı ile dönüştürüldüğü sürede, sadece dış beden duvarlarının korunarak iç mekan taşıyıcılarının tamamen ortadan kaldırılması ve yeniden iki katlı bir yapının inşa edilmesi, 		
	Hamam	-	<ul style="list-style-type: none"> Yapı ile strüktürel olarak uyumlu olmayan betonarme eklemelerin yapılması, 		

3.3. Çevresel Performans Değerlendirmesi

Yapı fiziksel çevre biçimlendirilmesinde dolaşım alanları, erişim olanakları, trafik yoğunluğu ve otopark sayısı gibi değerler göz önünde bulundurulmalıdır (Dikmen ve Özçetin, 2016). Bir yapının çevresel performansının değerlendirilmesinde de çeşitli araştırmacıların belirlemiş olduğu bu gibi kriterler mevcuttur.

Lützkendorf vd. (2005) yapının çevresel performansını, yapının çevresi ile olan uyumu ve karşılıklı etkileşimi olarak açıklamaktadır. Yapının çevresel performansı değerlendirilirken hem yakın hem uzak çevrenin dikkate alınması ve yapının arazi kullanımı, trafik ve yapı yoğunluğu ve kaynak kullanımı gibi verilere dikkat edilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Yıldız (2013) bir yapının çevresel performansını değerlendirirken, yapının doğal ve yapı çevre ile ilişkisi, çevrenin tarihi özellikleri ile olan bağı ve yapı erişilebilirliği gibi kriterlere dikkat edilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Ergün ve Halaç (2021) ise yapmış oldukları çalışmada, bir yapının çevresel performansının değerlendirilmesinde yapıya ulaşım ve kentsel mekan oluşumu gibi kriterleri baz almıştır.

Bu çalışmada külliye birimleri bir bütün olarak ele alınıp yapının çevresiyle olan uyumu alan çalışması, literatür taramaları ve yapı görselleri baz alınarak ilgili uluslararası koruma ölçütlerinin ilgili maddeleri bağlamında çevresel performans değerlendirme yapılmıştır (Tablo 4, Ek-1).

Tablo 4. Uluslararası koruma ölçütleri bağlamında külliye birimlerinin dönemsel çevresel performans değerlendirmeleri

Kriter	Yapı	Açıklama		İlgili Uluslararası Koruma Ölçütü
		Olumlu yaklaşım	Olumsuz yaklaşım	
Çevresel Performans	Cami	<ul style="list-style-type: none"> • Yaya ve taşıt ulaşımının uygun olması, • Bulunduğu yer için tanıtım elemanı olması, 	<ul style="list-style-type: none"> • Yapıların restorasyon ve yeni işlevlerinin belirlenmesinde bir bütün olarak ele alınmaması, • Trafik yoğunluğunun fazla olması sonucu titreşim ve gürültü oranının artması, • Otopark sayısının yetersiz olması sonucu araçların yollara park ederek geçişlere engel olması, • Yapının yakın çevresi ile renk, ölçü, oran ve işlev bütünlüğünün sağlanmaması, • Külliye yakın çevresinde çöp alanlarının oluşması ve yeterli seviyede çevre düzenlemesinin yapılmamış olması, • Yapı yakın çevre yaya yollarında bozulmaların meydana gelmiş olması, 	<ul style="list-style-type: none"> • Carta Del Restaura-Madde 6 • Venedik Tüzüğü- Madde 6, 13, 14 • Washington Tüzüğü- Madde 2, 10, 12, 13 • Burra Tüzüğü- Madde 8
	Darüşşifa			
	Sıbyan Mektebi-Darülhadis			
	Medrese			
	İmaret ve Tabhane			
	Tekke			
	Kervansaray			
	Hamam			

4. Sonuç

Somut kültürel mirası temsil eden tarihi yapılar, geçmişe ait kültürel, mimari, sanatsal ve bilimsel özellikleri taşıyan önemli kimlik unsurlarıdır. Dolayısıyla korunmaları, geçmiş ile gelecek arasında anlamlı bağlantılar kurulmasına katkı sağlayacak ve bulunduğu bölgede aidiyet duygusunu arttıracaktır. Güçlendirme, bütünleme, yeniden yapma, temizleme gibi birçok farklı tekniği bulunan restorasyon, tarihi yapıların korunmasında önemli rol oynamaktadır.

Çalışmada, tarihi yapıların korunması sırasında uygulanan restorasyon tekniklerinin olumlu ve olumsuz yaklaşım değerlendirilmesi, Mimar Sinan'ın son eseri olarak bilinen Atik Valide Külliyesi özelinde ele alınmıştır. Külliye yapılarının işlevsel, süreç ve çevresel performans değerlendirilmesi Carta Del Restaura (1931), Venedik Tüzüğü (1964), Washington Tüzüğü (1987), Burra Tüzüğü (1999) ve ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü 1999-Uygulama İlkeleri kapsamında ortaya konmuştur. Dönemler içerisinde birçok müdahale ve dönüşüm geçiren külliye yapılarının, özgün durumuna kalıcı hasar veren olumsuz yaklaşımlar bulunduğu gibi özgün durumuna benzerlik gösterecek şekilde korunarak günümüze ulaşmasının sağlandığı olumlu yaklaşımların da bulunduğu görülmektedir. Bu yaklaşımların ortaya konduğu çalışmanın, külliye yapıları için

yapılacak olan bilimsel veya uygulamalı çalışmalarda kaynak olması hedeflenmektedir. Yapılan değerlendirme yöntemi çok sayıda medeniyete ev sahipliği yapan İstanbul şehri özelinden hareketle, yeniden işlevlendirme sürecinde ve uygulanacak müdahalelerin değerlendirilmesinde bir yaklaşım ve örnek oluşturabilir. Ayrıca işlevsel değişimlerin kronolojik sıralama yapılarak analiz edildiği çalışma, yerel yönetimlere ön analiz için bir metod önerisi olarak sunulmaktadır. Bu analiz sonucunda tarihi yapıların belgelendirilerek özgün durumuna en yakını tespit edilmekte ve uyumlu müdahalelerde bulunulabilmektedir.

İnşa edildiği dönemden günümüze özellikleri ortaya konan tarihi Atik Valide Külliyesi yapılarının; fonksiyonel ve kütlele değişiminin detaylı olarak incelenmesi arşiv niteliğinde olup mimari koruma alanına bir katkı olarak sunulmaktadır. Bu kapsamda, geçmişin somut kültür ürünü olarak bir yapının tarihi değerleri açıkça tanımlanmalı ve yeniden işlevlendirilme süreçlerinde binanın ilk inşa durumuna uygun korunurken kendi döneminin kimliğini de taşıyacak uyumlu işlevler belirlenmelidir. Bu bağlamda, yapılacak müdahalelerin özgün durumundan ayırt edilebilir olması ve tarihi binanın özelliklerini koruması büyük önem taşımaktadır.

Not: Bu çalışma İzzettin Kutlu adlı yazarın Ahmet Sever ile ortak çalışması olan "Geçmişten Günümüze Başlı Beladan Kurtulmayan Mimar Sinan'ın Son Eseri; Atik Valide Külliyesi,

Prof. Dr. Gönül Tankut Anısına Sempozyumu Koruma Geçmiş, Bugün, Gelecek Arasındaki Diyalog, Ankara” poster sunumundan genişletilmiştir.

Kaynakça

- Artvinli, F. (2013). Delilik Siyaset ve Toplum: Toptaşı Bimarhanesi 1873-1927. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Ahunbay, Z. (1988a). Mimar Sinan Yapılarında Kullanılan Yapım Teknikleri ve Malzeme.
- Ahunbay, Z. (1988b). Mimar Sinan’ın Eğitim Yapıları. Mimarbaşı Koca Sinan Yaşadığı Çağ ve Eserleri, 1, 239-309.
- Akgün, G. H. (2005). 16. yy. Osmanlı kenti İstanbul’da kent içi konumlarına göre Mimar Sinan’ın külliye gruplarında yer seçimi etmenlerinin tespiti ve analizi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi) Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Alaboz, M. (2008). Mimar Sinan köprülerinin güncel durum değerlendirmesi ve Kapuğası köprüsü restorasyon projesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alkan, G. (2007). İstanbul Mimar Sinan Dönemi Külliyesi İçinde Medreselerin Yeri ve 'Edirnekapi Mihrimah Sultan Medresesi'. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altınoluk, Ü. (1998). Binaların yeniden kullanımı. İstanbul: YEM Yayınları
- Altıntaş, S. (2020, 19 Şubat). Mimar Sinan’ın Son Şarkısı: Valide-i Atik Külliyesi. Hürriyet. Website: <https://www.hurriyet.com.tr/seyahat/mimar-sinanin-son-sarkisi-valide-i-atik-kulliyesi>
- Balcan, C. (2018). Mimar Sinan’ın İstanbul külliyelerinde yer alan sıbyan mektepleri ve koruma sorunları [Mimar Sinan Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Benli, G. (2016). Hospitals in the Ottoman Period and the Work Of Sinan the Architect: Suleymaniye Külliye Dar Al-Shifa and the Medical Madrasa. A+ Arch Design International Journal of Architecture and Design, 2(3), 1-9.
- Bennett, A. & Elman, C. (2006). “Complex causal relations and case study methods: The example of path dependence”, Political analysis, 250-267.
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2020). Sinan. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Sinan>
- Cangül, C. (2008). Atik Valide Hamamı. <https://www.canercangul.com/16493/atik-valide-hamami/> adresinden 25 Şubat 2021 tarihinde erişildi.
- Çıplak, E. L. (2017). Mimar Sinan yapılarının inşa tekniğini anlamak: Lüleburgaz Sokullu Mehmed Paşa Camisi örnek çalışması. (Yayımlanmamış doktora tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demir, M. (1998). Türkiye Selçuklu şehirlerinde imaret kurumları ve vakıfları. Vakıflar Dergisi, 27, 53-73.
- Demirdal, M. (2014). İstanbul’da işlev değişikliğine uğramış Mimar Sinan Hamamları: Ortaköy hamamı örneği. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dikmen, Ç.B. ve Özçetin, Z (2016). Herkes için Tasarım Kapsamında bir Avrupa Birliği Gençlik Projesi Deneyimi: Engelsiz Yozgat. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(7), 58-74.
- Dikmen, Ç.B. ve Toruk, F. (2017). Sıbyan Mekteplerinin Mimarisi: Abdullah Paşa Sıbyan Mektebi Örneği. Vakıflar Dergisi, 48, 35,73.
- Diñçel, I. (1995). İstanbul’daki Mimar Sinan dönemi medreseleri genel değerlendirmesi ve Kılıç Ali Paşa Medresesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ekimci, B. G. (2011). Üsküdar’ın Vakıf Eser Kültür Mirası Ve Korunması İçin Öneriler. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Eriş, İ., & Yüzereroğlu, U. (2013). Atik Valide Sultan Külliyesi 2011-2013 yılları restorasyonu ve uygulamaları. İçinde Vakıf Restorasyon Yıllığı (Sayı 6).
- Ergün, R., & Halaç, H. H. (2021). Kırkkışık Bedesteni’nin Yapı Kullanıcıları Bazında Kullanım Sonrasında Değerlendirilmesi. Online Journal of Art and Design, 9(3), 150-162. <http://adjournal.net/articles/93/9312.pdf>. Erişim Tarihi: 15.02.2021.
- Erkan, G. (2005). Tabhane. Toplum ve Sosyal Hizmet, 16(2), 53-56.
- Ertuğrul, A. D. (2002). Mimar Sinan’ın İstanbul’daki mevcut hamamları. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İpekeçi, E. (2016). Mimar Sinan tarafından İstanbul’da inşa edilen Çinili Hamam’ın sıva özellikleri. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- İşçi E. (2008). “Nitel araştırma yöntemleri”, <http://emreisci.blogspot.com.tr/2008/11/nitel-aratirma-yntemleri.html>, adresinden 25 Şubat 2021 tarihinde erişildi.
- Kalaç, R. (2020). Bir Hadis İhtisas Kurumu Olarak Nüriyye Ve Eşrefiyye Dârülhadisi. Türkiye Din Eğitimi Araştırmaları Dergisi, 9, 67-82. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1173094>
- Kara, M. (2008). Tekke eğitimi ve literatürü. Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi, 6(12), 107-138.
- Karagöz, Ş. (2005). Marmaray Projesi Üsküdar Meydanı Aç-Kapa İstasyonu Arkeolojik Kurtarma Kazıları. 15. Müze Çalışmaları ve Kurtarma Kazıları Sempozyumu, 137-166.
- Katkak, B. (2016). Mimar Sinan’ın İstanbul’u. Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu.
- Kaygısız, A. (2019). Mimar Sinan Camilerinden Şemsi Ahmet Paşa Camii (Üsküdar) ile T.C. Diyanet İşleri Başkanlığı Tıp 3 Camii’nin akustik açıdan karşılaştırılması. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaynar, İ. C. (2019). Restorasyon uygulamaları sonrasında önleyici koruma metodolojisinin Mimar Sinan dönemi türbeleri üzerinde irdelenmesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Konyalı, İ. H. (1977). Abideleri ve Kitabeleriyle Üsküdar Tarihi. Türkiye Yeşilay Cemiyeti.
- Kuban, D. (1961). Atik Valide Camii. Mimarlık ve Sanat, 2.
- Kuran, A. (1988). Mimar Sinan’ın Camileri. İçinde S. Bayram (Ed.), Mimarbaşı Koca Sinan: Yaşadığı Çağ ve Eserleri-1 (ss. 175-214). Vakıflar Genel Müdürlüğü. <http://hdl.handle.net/11352/1771>
- Kutlu, İ. & Sever, A. (2017). Geçmişten Günümüze Başlı Beladan Kurtulmayan Mimar Sinan’ın Son Eseri; Atik Valide Külliyesi, Prof. Dr. Gönül Tankut Anısına Sempozyumu Koruma Geçmiş, Bugün, Gelecek Arasındaki Diyalog, Ankara.
- Lutzkendorf, T., Speer, T., Sızıgetti, F., Davis, G., Roux, P.C., Kato, A., Tsuekawa, K. (2005). A comparison of international classifications for performance requirements and building performance categories used in evaluation methods, CIB 2005 Helsinki Symposium, International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Helsinki
- Nemlioğlu, C. (2004). Üsküdar, Atik Valide Camii Özgün Kalem İşleri Ve Türk-İslam Bezeme Sanatındaki Yer. İçinde Z. Kurşun, A. E. Bilgili, K. Kahraman, & C. Güngör (Ed.), Üsküdar Sempozyumu I (ss. 59-89). Üsküdar Belediye Başkanlığı Üsküdar Araştırmaları Merkezi. https://www.uskudar.bel.tr/userfiles/files/1.sempozyum_cilt_2.pdf

- Öztürk, T. (2019). Huzurevlerinde yatak odası mekanının gelişim süresi, İstanbul ve Brüksel Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 662-678
- Polat, M. (2020). Mimar Sinan dönemi camileri içerisinde yer alan Diyarbakır İskender Paşa Caminin önemi ve koruma sorunları. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Rabb, P. (2013) 'We are all servants here!' Mimar Sinan – architect of the Ottoman Empire, *Periodica Polytechnica Architecture*, 44(1), pp. 17-37. <https://doi.org/10.3311/PPar.7444>
- Saraç, T. (2012). Şehirleşen Üsküdar'da Ticaret Olgusu ve Mekânsal Oluşuma Etkisi, 7. Uluslararası Üsküdar Sempozyumu, 251-266.
- Sadan, O. B., Bal, I. E. and Smyrou, E. (2007). Structural Analysis of Istanbul Beyazit II Mosque Retrofitted by Mimar Sinan. In *Proceedings of the International Symposium on Studies on Historical Heritage*.
- Sekitmez, K. M. (2019). İstanbul Mimar Sinan dönemi medreseleri ve Üsküdar Mihrimah Sultan medresesi koruma ve işlev sorunları. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sönmez, Ü. N. (2010). Mimar Sinan yapısı menzil külliyelerinden; İzmit Pertev Paşa Külliyesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Sönmez, E. S. (2015). Mimar Sinan'ın Şehzade, Süleymaniye ve Selimiye Camilerindeki birim hücrelerden üreyen geometrik desenlerin çözümlemeleri. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Symon, G. E. & Cassell, C. E. (1998). *Qualitative methods and analysis in organizational research: A practical guide*. Sage Publications Ltd.

- Tuncer, S. (2014). Mimar Sinan camilerinde kubbenin akustik açıdan belgelenmesi: Kadırga Sokollu Mehmet Paşa camii örneği. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Tanman, M. B. (1991). Atık Valide Sultan Külliyesi. İçinde Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi (C. 4, ss. 68–73).
- Terzioğlu, A. (1992). Darüşşifa. İçinde Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi (ss. 163–178). Türkiye Diyanet Vakfı. <https://islamansiklopedisi.org.tr/bimaristan>
- URL-1. <https://www.sanatinoyculugu.com/uskudar-atik-valide-sultan-kulliyesi/> (Erişim Tarihi: 08.11.2020)
- URL-2. <https://www.uskudar.bel.tr/tr/main/erehber/hamamlar/41/valide-i-atik-hamami-toptasi-hamami/405> (Erişim Tarihi: 11.08.2020)
- Yaldız, E. (2013). Anıtsal Yapıların Kullanım Sürecinde Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yandex Haritalar, Website: <https://yandex.com.tr/harita/115706/uskudar/?ll=29.023987%2C41.018821&mode=search&oid=1071022895&ol=biz&z=17.96> (Erişim Tarihi: 08.11.2020)
- Yağlı, B. M. (2010). Mimar Sinan'ın Şehzade, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin tektonik karakterlerinin çözülmesi. (Yayımlanmamış doktora tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yıldırım, A. (1999). Nitel Araştırma Yöntemlerinin Temel Özellikleri ve Eğitim Araştırmalarındaki Yeri ve Önemi, *Eğitim ve Bilim*, 23(112).
- Yılmaz, A. (2001). Osmanlı mimarisinde külliye olgusu ve Atık Valide Külliyesi örneği. Mimar Sinan Üniversitesi.

Ekler

Ek-1: Çalışma kapsamına alınan uluslararası koruma ölçütlerinin ilgili maddeleri

Kriter	İlgili Uluslararası Koruma Ölçütü
İşlevsel Performans	"Carta Del Restauro (1931) Madde 4: Yaşayan, yani ayakta duran anıtlara, yalnızca özgün işlevinden çok uzak olmayan ve binada gerekli uyarlamaların önemli hasara neden olmayacak şekilde yapılabileceği yeni kullanımlar verilmesi kabul edilebilir"
	"Venedik Tüzüğü (1964) Madde 5: Kültür varlığının korunması, her zaman onları herhangi bir yararlı toplumsal amaç için kullanmakla kolaylaştırılabilir. Bunun için bu tür bir kullanıma arzu edilir, fakat bu nedenle yapının planı, ya da bezeme-meleri değiştirilmemelidir. Ancak bu sınırlar içinde yeni işlevin gerektirdiği değişiklikler tasarlanabilir ve buna izin verilebilir."
Süreç Performans	"ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü (1999) Uygulama İlkeleri Madde 1.5: Geleneksel yapıların yeni işlevlere uyarlanması ve yeniden kullanımında, yapılar kabul edilebilir bir yaşam standardına yükseltirken, bütünlüğü, karakteri ve biçimi saygı görmelidir. Eğer geleneksel mimari biçimler hala kullanılıyorsa, müdahaleler toplumun kabul edeceği bir etik kurallar çerçevesinde yapılabilir."
	"Carta Del Restauro (1931) Madde 1: Herşeyden önce, anıta, çökme ve aşınmalardan ötürü kaybettiği dayanıklılığı ve zamana karşı direnme gücünü yeniden kazandırmaya yönelik sürekli bakım ve sağlamlaştırma çabalarına önem verilmesi gerekir."
	"Carta Del Restauro (1931) Madde 7: Eğer bir anıtı sağlamlaştırmak, kısmi veya tam olarak bütünlük amacıyla, ya da yeniden kullanım nedeniyle ekler yapılması gerekirse, uyulması gereken temel koşul yeni öğelerin en az da tutulmaları, yalın ve yapısal düzeni yansıtır karakterde olmalarıdır benzer üslupta bir ek ancak yapının mevcut çizgilerini devam ettirmek ve bezemeden arınmış geometrik anlatımlar söz konusu olduğunda kabul edilebilir."
	"Carta Del Restauro (1931) Madde 9: Bir anıtın taşıyıcı sistemini güçlendirmek veya kütesini bütünlük için eski yapıyı yöntemleriyle amaca ulaşmazsa, çağdaş tekniklerin kullanılması uygun olabilir. Aynı biçimde, basit ya da karmaşık tüm yapıların strüktürleri ayakta tutabilmek için çeşitli bilimlerin katkıda bulunmaya çağırılması gerekir. Böylece bilime dayanmayan yöntemler yerlerini bilimsel olanlara bırakmak zorundadır."
Çevresel Performans	"Venedik Tüzüğü (1964) Madde 12: Eksik kısımlar tamamlanırken, bütünlük uyumlu bir şekilde bağdaştırılmalıdır; fakat bu onarımın, aynı zamanda sanatsal ve tarihi tanıklığı yanlış bir biçim-de yansıtmaması için, özgünden ayırt edilebilecek bir şekilde yapılması gereklidir."
	"Washington Tüzüğü (1987) Madde 8: Yeni işlev ve etkinlikler tarihi kent veya kentsel alanın karakteriyle uyumlu olmalıdır. Bu alanların çağdaş yaşama uyarlanması için gerekli teknik servislerin getirilmesi veya iyileştirilmesi işlemleri özenle yapılmalıdır."
	"Carta Del Restauro (1931) Madde 6: Anıta ve geçirdiği dönemlere olduğu kadar çevresine de saygılı olunmalıdır. Anıtın çevresindeki yapılar yıkılarak uygunsuz bir biçimde yalnız bırakılmasına veya çevresinin niteliği, kütesi, rengi, üslubu ile rahatsız edici yapılarla sarılmasına engel olunmalıdır."
	"Venedik Tüzüğü (1964) Madde 6: Kültür varlığının korunması, ölçeği dışına taşmamak koşuluyla çevresinin de bakımını içine almalıdır. Eğer geleneksel ortam varsa, olduğu gibi bırakılmalıdır. Kütle ve renk ilişkilerini değiştirecek hiçbir yeni eklentiye, yok etmeye ya da değiştir-meye izin verilmemelidir."
	"Venedik Tüzüğü (1964) Madde 13: Eklemlere, ancak yapının ilgi çekici bölümlerine, geleneksel konumuna, kompozisyonuna, dengesine ve çevresiyle olan bağıntısına zarar gelmediği durumlar-da izin verilebilir."
	"Washington Tüzüğü (1987) Madde 2: Korunması istenen nitelikler kentin veya kentsel alanın tarihi karakteri ile bu karakteri oluşturan maddi ve tinsel bileşenlerdir, özellikle: a. Parsel ve sokakların tanımladığı kent dokuları, b. Binalarla yeşil ve açık alanlar arasındaki ilişkiler, c. Binaların ölçek, boyut, üslup, yapı tekniği, kullanılan malzemeler, renk ve bezemeler ile tanımlanan biçimleri, iç ve dış görünüşleri, d. Kent veya kentsel alanın doğal ve insan yapısı çevresi ile arasındaki ilişki; e. Kent veya kentsel alanın zaman içinde yüklediği değişik işlevler. Bu özellikleri tehdit eden olumsuz etkenler tarihi kent veya kentsel alanın özgünlüğünü zedeleyebilir."
"Washington Tüzüğü (1987) Madde 10: Yeni binalar yapılması gerektiğinde veya eskileri uyarlanırken, mevcut mekansal oluşum saygı görmeli, özellikle ölçek ve parsel boyutuna dikkat edilmelidir. Çevreye uyumlu çağdaş öğeler yöreyi zenginleştirebileceğinden, yeni tasarımlar engellenmemelidir."	
"Washington Tüzüğü (1987) Madde 12: Tarihi bir kent veya kentsel alandaki trafik denetlemeli, park alanları tarihi dokuyu veya çevresini zedelemeyecek şekilde düzenlenmelidir."	
"Washington Tüzüğü (1987) Madde 13: Kent veya bölge planlarının öngördüğü yeni otoyollar, tarihi kente veya kentsel alana sokulmamalı, fakat tarihi kente ulaşımı kolaylaştırmalıdır."	
"Burra Tüzüğü: Kültürel Önemli Sahip Yerlerin Korunması Avustralya-ICOMOS Tüzüğü. (1999) Madde 8: Tarihi bir alanın korunması, görsel düzenlemeleri ve tarihi dokuya katkıda bulunan diğer parçalarının da korunmasını beraberinde getirir. Nitelik yeni yapılanma, yıkım, izinsiz müdahaleler veya ortamı olumsuz yönde etkileyecek diğer değişiklikler uygun değildir"	



Bazı Vitaminlerin Bağışıklık Sistemi ve Covid-19 Tedavisindeki Etkisi

Ezgi Arslan^{1*}

^{1*} İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, Beslenme Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0624-4711), dyt.ezgiarslan@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 4 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 10 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.874083)

ATIF/REFERENCE: Arslan E. (2021). Bazı Vitaminlerin Bağışıklık Sistemi ve Covid-19 Tedavisindeki Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 185-191.

Öz

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), şiddetli akut solunum sendromuna (ARDS) neden olan koronavirüs hastalığını (Covid-19) küresel bir salgın olarak ilan etmiştir. Bağışıklık sisteminin korunmasına yardımcı olan dengeli beslenme, viral enfeksiyonların önlenmesi ve tedavisi için gereklidir. Enfeksiyon riskini azaltmak ve bağışıklık sistemini desteklemek için anti-inflamatuvar özelliklere sahip bazı vitaminlerin (A, C, E ve B12) anahtar rolleri olduğu gösterilmiştir. Bu derlemede, Covid-19 tedavisinde bağışıklık sistemini güçlendirmek ve oksidatif stresi azaltmak için A vitamini, C vitamini, E vitamini ve B12 vitamininin etkilerine bakılmıştır. Yüksek anti-inflamatuvar ve antioksidan kapasiteye sahip ve immünomodülatör olarak görev alan bileşenler arasında A, C, E ve B12 vitamini bulunmaktadır. Bu vitaminlerin, antioksidan etkilere bağlı olarak NF-kB ve Nrf2 gibi transkripsiyon faktörlerle etkileşime girebilmektedir. Ayrıca, solunum epitelyumunun ciddi enfeksiyonu, sitokin fırtınası yaratarak ARDS'ye yol açabilir ve bu durum, Covid-19 hastalarında da görülmektedir. Şu anda, Covid-19 hastalığını tedavi eden aşı henüz bulunmamıştır. Bu salgın süresince, anti-mikrobiyal özelliklere sahip vitaminlerin Covid-19 tedavisinde potansiyel rolü olabileceği düşünülmüştür. Ancak, koronavirüs enfeksiyonunda beslenme ile ilgili veriler yetersiz olduğundan daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Koronavirüs, Covid-19, A vitamini, C vitamini, E vitamin, B12 vitamin.

The Effects of Some Vitamins in the Immune System and Covid-19 Treatment

Abstract

World Health Organization (WHO) declared that coronavirus disease causes severe acute respiratory syndrome (ARDS) and as a global epidemic. Balanced nutrition, which is essential for the prevention and treatment of viral infections, helps to protect the immune system. Some vitamins with anti-inflammatory properties have been shown to play a key role in reducing the risk of infection and supporting the immune system. In this review, the effects of vitamin A, vitamin C, vitamin E and vitamin B12 were investigated to strengthen the immune system and reduce oxidative stress in the treatment of Covid-19. Vitamins A, C, E and B12 have high anti-inflammatory and antioxidant capacity and act as immunomodulators. Many of these can interact with transcription factors such as NF-kB and Nrf2 due to antioxidant effects. In addition, severe infection of the respiratory epithelium can cause ARDS by creating a cytokine storm, which is also seen in patients with Covid-19. Currently, the vaccine that treats Covid-19 disease has not yet been found. Until an effective treatment was found, vitamins with anti-microbial properties were thought to have a potential role in the treatment of Covid-19. However, more data are needed because nutritional data are insufficient in coronavirus infection.

Keywords: Coronavirus, Covid-19, Vitamin A, Vitamin C, Vitamin E, Vitamin B12.

* Sorumlu Yazar: dyt.ezgiarslan@gmail.com

1. Giriş

Tek sarmallı RNA virüsleri olan koronavirüsler (CoV'ler), 50 yılı aşkın süredir hayvan ve insanları enfekte ederek solunum, gastrointestinal, hepatik ve nörolojik sistemleri olumsuz etkilemiştir (Bulut & Kato, 2020; Wu vd., 2020). Son 20 yılda ise, ciddi akut solunum sendromu (SARS) ve Orta Doğu Solunum Sendromu (MERS) iki büyük pandemiye neden olmuştur (Zhou vd., 2020). Alfa, beta, gama ve delta koronavirüs olmak üzere dört farklı türü bulunmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, alfa-koronavirüslerden, NL63 ve 229E; beta-koronavirüslerinden OC43, HKU1, SARS ve MERS dahil olmak üzere altı insan koronavirüsü tanımlanmıştır (Wu vd., 2020). Bu virüsler arasında 229E, HKU1, NL63 ve OC43, insanlarda soğuk algınlığının nedeni olarak bilinmektedir. Yakın zamanda tespit edilen SARS ve MERS virüslerinin ise ciddi akut solunum yolu enfeksiyonlarına ve nozokomiyal salgınlara neden olduğu görülmüştür (Bulut & Kato, 2020).

2019 yılı sonlarında, daha önce bilinmeyen bir virüsün neden olduğu bir pnömoni vaka kümesi Çin'in Wuhan şehrinde ortaya çıkarak kısa sürede pandemi yaratmıştır. Şiddetli akut solunum sendromu koronavirüs-2 (SARS-CoV-2) olarak adlandırılan bu virüs, 2019 koronavirüs hastalığının (Covid-19) gelişmesine neden olmuştur (Bulut & Kato, 2020; Iddir vd., 2020). İlk araştırmalarda, SARS-CoV-2'nin kökeninin yarasalar olabileceği belirtilmiş ve daha sonra, yarasa koronavirüsü ile SARS-CoV-2'nin %96 oranında benzer genom seviyesine sahip olduğu görülmüştür (Bulut & Kato, 2020; Wu vd., 2020; Zhou vd., 2020).

SARS-CoV-2 tanılı hastaların klinik semptomları ateş, kuru öksürük, solunum güçlüğü, baş ağrısı ve zatürre olarak belirtilmiş, ancak, semptom göstermeden ilerleyebileceği de saptanmıştır (Iddir vd., 2020; Zhou vd., 2020). Daha ciddi vakalarda, akut solunum sıkıntısı sendromu (ARDS), akut kardiyak komplikasyonlar, çoklu organ disfonksiyon sendromu, septik şok ve ölüm görülmüştür (Iddir vd., 2020). Hastalığın ilk başlarında, alveolar hasar ve solunum yetmezliğine neden olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, vücut sıcaklığındaki artış, üç günlük antibiyotik tedavisinin etki etmemesi, lenfosit ve akyuvar sayısında azalmaya bağlı olarak hastalarda virüs kaynaklı pnömoni görülmüştür (Zhou vd., 2020). Bu komplikasyonların bağışıklık sistemi ile ilgili sitokinlerin salınmasını tetikleyerek inflamasyonun artmasına neden olduğu düşünülmektedir (Iddir vd., 2020).

Covid-19 hastalığına karşı geliştirilmiş etkin bir tedavi henüz bulunmamıştır. Bu nedenle, virüsün çoğalmasını ve yayılmasını önlemek için alternatif çözüm yollarına ihtiyaç duyulmaktadır. Koronavirüsü kontrol altına almak için sosyal izolasyonu sağlamaya yönelik politikalarla birlikte, sağlıklı bağışıklık sistemini sağlamak için yeterli ve dengeli beslenmenin önemi vurgulanmıştır. Enfeksiyon riskini azaltmak için anti-inflamatuvar ve antioksidan özelliklere sahip besin bileşenleri ile birlikte çeşitli fitokimyasallar önerilmektedir (Iddir vd., 2020). Bu derlemenin amacı ise, Covid-19 tedavisinde bağışıklık sistemini güçlendirmek ve oksidatif stresi azaltmak için terapötik bileşenlerden A vitamini, C vitamini, E vitamini ve B12 vitamininin etkilerine odaklanmaktır.

2. Bağışıklık Sistemi, İnflamasyon ve Covid-19

Bağışıklık tepkisi, oksidatif stres ve inflamatuvar süreçlerle güçlü bir şekilde düzenlenmektedir (Iddir vd., 2020). Enfeksiyon genel bir yanıt olup, her patojene özgü adapte olmuş bağışıklık ile karşılaştırıldığında, doğuştan gelen bir savunma mekanizması olarak kabul edilmektedir (Lauridsen, 2019). İnflamasyon ve oksidatif stres, mitokondriyal süreçlerde önemli rol oynayarak insan vücudunun işleyişine katkıda bulunmaktadır (Iddir vd., 2020; Lauridsen, 2019).

Oksidatif stres, lipid peroksitler, nitrik oksit dahil olmak üzere reaktif oksijen (ROS) ve reaktif azot türlerinin (RNS) dengesizliği ile baskılanır. Nitrik oksit gibi ROS, süperoksit radikali ve peroksinitritler ile endotel hasarı ve inflamasyonun arasında bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Iddir vd., 2020; Lauridsen, 2019). Bununla birlikte, endotel hasar ve inflamasyonun Covid-19'da hayati bir rol oynadığı görülmüştür (Iddir vd., 2020). Bir çalışmada, Covid-19 hastalarında hem doğal hem de adaptif bağışıklık mekanizmasında meydana gelen ilgili değişiklikler vurgulanmıştır (Catanzaro vd., 2020). Aslında, SARS-CoV-2'nin neden olduğu ciddi akut solunum sendromu ile ilgili komplikasyonlar, esas olarak viral replikasyonun neden olduğu belirgin inflamasyondan kaynaklanmaktadır (Iddir vd., 2020). Covid-19'lu hastalarda, toplam nötrofillerdeki lenfositopeni ve modülasyon yaygın özelliktir ve hastalık şiddeti ile ölüm arasında doğrudan ilişkili görünmüştür (Catanzaro vd., 2020). Şiddetli Covid-19 olan hastalarda, dolaşımdaki CD4+, CD8+, B, T hücreleri ve doğal öldürücü (NK) hücreleri ile monosit, eozinofiller ve bazofillerin sayılarında azalma olduğu bildirilmiştir (Butler & Barrientos, 2020; Catanzaro vd., 2020; Xu vd., 2020). Ek olarak, insan bronşiyal epitel hücrelerinde, interlökin (IL)-6 ve IL-8 olmak üzere birçok serum pro-inflamatuvar sitokinlerin üretildiği görülmüştür. Serum düzeylerinde görülen belirgin artışların, SARS-CoV-2 enfeksiyonuna karşı bir yanıt olduğu belirtilmiştir (Catanzaro vd., 2020; Iddir vd., 2020; Huang vd., 2020). Ayrıca, çok merkezli retrospektif kohort çalışmasında, Covid-19'lu hastalarda yüksek mortalite riskleri ile ilişkili yüksek duyarlılık C-reaktif protein ve prokalsitonin seviyelerinin artış gösterdiği bildirilmiştir (Catanzaro vd., 2020).

Beslenme ve viral enfeksiyon arasındaki ilişkinin bağışıklık fonksiyonlarındaki değişikliklerden kaynaklandığı varsayılmaktadır. Yetersiz beslenme bağışıklık tepkisini bozarak, viral enfeksiyona karşı artan hassasiyete neden olur (Beck, 1996; Iddir vd., 2020). Beslenme, bağışıklık sisteminin işleyişinde değiştirilebilir bir faktör olarak hareket eder. Ayrıca, viral enfeksiyonlara karşı güçlü etkileri bulunmaktadır (Iddir vd., 2020). Bu nedenle, Covid-19'a karşı beslenme faktörlerinin dikkate alınması, enfeksiyonun önlenmesi ve bağışıklık sisteminin güçlendirilmesinde önemli bir rol oynayabilir.

3. A Vitamini

A vitamini eksikliği, artan enfeksiyon riski ile ilişkilendirilen ve düşük gelirli ülkelerde en sık görülen mikro besin ögesi eksikliğidir (Beck, 1996; Iddir vd., 2020). Yağda eriyen vitaminlerden biri olan A vitamini α - veya β -karoten gibi provitamin A karotenoidlerinden oluşmaktadır. A vitamini, müsin salgılanması ve bağışıklık fonksiyonlarının artması için gerekli olup, sağlıklı mukus tabakasının oluşmasında yer almaktadır (Iddir vd., 2020). Havuç, tatlı patates ve yeşil

yapraklı sebzeler A vitamininden zengin besin kaynaklarıdır (Muscogiuri vd., 2020).

A vitamini takviyesinin, hepatit B virüsü (HBV), sitomegalovirüs, influenza, kızamık ve norovirüs dahil olmak üzere birçok virüs replikasyonu üzerinde doğrudan inhibitör etkilere sahip olduğu görülmüştür (Semba & Tang, 1999; Trasino, 2020). A vitamini eksikliği, respiratuvar sinsisyal virüs (RSV) enfeksiyonlarının artması ile ilişkili bulunmuştur. Ayrıca, A vitamini takviyesi alan çocuklarda pnömoni ve kızamık enfeksiyonu ile ilişkili mortalitede önemli bir azalma saptanmıştır (Beck, 1996). Retinoidlerin kızamık replikasyonunu inhibe ettiği mekanizma, enfekte olmamış hücrelerdeki doğal bağışıklık tepkisini arttırmasıyla açıklanmaktadır (Trottier vd., 2009).

A vitamininin retinal, retinol ve retinoik asit olmak üzere üç aktif formu bulunmaktadır. Bu formlar, nükleer retinoik asit reseptörünü (RAR) aktive eden ligand görevi görür ve bilinmeyen metabolitler retinoid X reseptörünü aktive ederler (Iddir vd., 2020). Retinoik asitler [all-trans ve 9-cis (ATRA)], nötrofillerin çekirdeğinde RAR üzerinde etki ederek mTOR sinyal yolunu uyarır (Huang vd., 2018; Iddir vd., 2020) (Şekil-1). Bu yol, nötrofil hücre dışı tuzaklarını ve sitotoksiteyi arttırır; dolayısıyla çoklu tümör hücrelerinin etkili bir şekilde öldürülmesini sağlar (Huang vd., 2018). Bu nedenle, ATRA, doğuştan gelen bağışıklık sisteminin farklılaşması, olgunlaşması ve işlevinin düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Retinoik asit, fagositoz ve sitotoksik aktivite yoluyla bağışıklık düzenleyici fonksiyonları ilişkilendiren NK-T hücrelerinin aktivasyonu ile patojen istilasına tepki verir (Iddir vd., 2020; Huang vd., 2018; Trasino, 2020). Bununla ilgili olarak, düşük A vitamini durumunun nötrofillerin ve makrofajların yanı sıra T ve B hücrelerinin engellenmiş fonksiyonu ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Iddir vd., 2020). Bu nedenle, retinoidlerin ve interferon-1 (IFN-1) kombinasyonunda, retinoidlerin salgılanmayı uyardığı ve IFN-1'in etkilerini güçlendirdiğini gösteren veriler bulunmaktadır (Trasino, 2020).

Retinoid aktivasyonunun koronavirüsleri güçlü bir şekilde inhibe edebileceğine dair kanıtlar mevcuttur (Trasino, 2020). Bununla ilgili yapılan hayvan çalışmasında, düşük A vitamini alımının, inaktive edilmiş koronavirüs aşısına karşı serum immünooglobulin-G1 (IgG1) tepkilerini tehlikeye attığını ve bulaşıcı hastalığa daha duyarlı hale getirdiği bildirilmiştir (Jee vd., 2013). Başka bir çalışmada ise, enfeksiyöz bronşit virüs tanısı almış tavuklarda A vitamini eksikliğinin daha belirgin olduğu görülmüştür (West vd., 1992). Yuan ve ark. (2019), RAR α için spesifik antagonist olan Am580'in, SREBP aracılı lipojenik yolların bozulması nedeniyle SARS-CoV ve MERS-CoV'lere karşı güçlü bir inhibitör olduğunu göstermiştir.

Bugüne kadar, IFN-1'in hücre veya hayvan modellerinde SARS-CoV-2 üzerindeki etkileri gösteren bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak, SARS-CoV ve MERS-CoV ile ilgili yapılan çalışmalarda, virüsteki nükleokapid proteinin (N proteini) bilinmeyen bir mekanizma yoluyla IFN-1'i inhibe ettiği görülmüştür. İnsanlar üzerinde yapılan çalışmalarda IFN-1'in SARS-CoV ve MERS-CoV'ye karşı gösterdiği klinik sonuçlar ise karmaşıktır (Trasino, 2020). Bu nedenle, IFN-1 tedavileri koronavirüs tanısı almış hastalarda enfeksiyon riskini hafifletmeyebilir.

Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda A vitamininin viral enfeksiyonlara karşı etkili bir bileşen olduğu görülmüştür. Bu nedenle, A vitamini takviyesi, akciğer enfeksiyonlarının

önlenmesi ve Covid-19 tedavisinde umut verici bir seçenek olabilir. Ancak, A vitamini ve SARS-CoV-2 ilişkisini gösteren çalışmaların yetersizdir ve daha çok araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

4. E Vitamini

Besinlerde bulunan dört tokoferol (α -, β -, γ - ve δ tokoferol) ve dört tokotrienol (α -, β -, γ - ve δ tokotrienol) olarak bulunan E vitamini, yağda çözünen bir vitamindir. Alfa-tokoferol, insan vücudunda en yüksek biyoyararlanım özelliğine sahiptir ve E vitamini gereksinimini karşılamaktadır (Iddir vd., 2020; Lee & Han, 2018; Zhang & Liu, 2020). Tokoferoller, fındık, bitkisel yağlarda yüksek miktarlarda bulunurken, tokotrienoller genel olarak tohum ve tahıllarda bulunmaktadır (Iddir vd., 2020; Muscogiuri vd., 2020). E vitamini eksikliği insanlarda nadir görülmektedir. Ancak, malabsorpsiyon bozukluğu yaşayan bireylerde sık görülebilir (Iddir vd., 2020).

Membran hücrelerinin bütünlüğünü ve biyoaktivitesini korumak için gerekli olan antioksidan fonksiyonun yanı sıra, E vitamininin anti-inflamatuvar etkileri ve immünomodülatör fonksiyonu da açıklanmıştır. E vitamini, protein fosforilaz 2A'nın aktivasyonu yoluyla protein kinaz C- α (PKC) fosforilasyonu arttırarak PKC aktivitesini inhibe eder. Bu sayede, trombosit agregasyonunda inhibisyon, monosit ve vasküler düz kas hücre proliferasyonunda azalma, nötrofil ve makrofajlarda süperoksit üretiminde azalma görülür (Lee & Han, 2018). Hayvan ve insan çalışmalarında, E vitamini eksikliğinin humoral ve T-hücresi aracılı bağışıklık fonksiyonlarında bozulmaya neden olduğu gösterilmiştir. Hayvan çalışmalarında E vitamini desteği ile lenfosit proliferasyonu, immunoglobulin seviyeleri, antikor tepkileri, NK hücre aktivitesi ve IL-2 üretiminin arttırdığı belirtilmiştir (Lee & Han, 2018). Ayrıca, E vitamini takviyesinin, T-hücrelerinde immun sinaps oluşumunu iyileştirdiği ve T-hücresi aktivasyon sinyallerini başlattığı gösterilmiştir (Iddir vd., 2020; Lee & Han, 2018). İnsanlar üzerinde yapılan birçok müdahale çalışmasında, önerilenden fazla E vitamini takviyesinin, mitojenik uyarıya yanıt olarak artmış lenfosit proliferasyonu, artmış IL-2 ve azalmış IL-6 üretimi ile sonuçlandığı bildirilmiştir (Lee & Han, 2018; Meydani vd., 1990). De la Fuente ve ark. (2008) yaptığı bir çalışmada, E vitamini (200mg/gün) alımının yaşlılarda, nötrofil kemotaksisi, fagositozu ve NK hücre aktivitesini iyileştirdiği görülmüştür (Şekil-1).

E vitamininin bağışıklık sistemini uyarıcı etkisi, çeşitli patojenlere karşı artmış direnç ile sonuçlanmaktadır. Bağışıklık sistemi ile ilişkili olarak, E vitamininin bulaşıcı hastalıkların insidansı üzerindeki etkilerini gösteren insan ve hayvan çalışmaları yapılmaktadır (Jayawardena vd., 2020; Lee & Han, 2018). Fareler üzerinde yapılan bir çalışmada, E vitamini alımının (7 güne kadar 60 mg/kg/gün) C vitamini takviyesine (80 mg/kg/gün) göre, influenza enfeksiyonu kaynaklı oksidatif stresi azaltmada daha etkili olduğu görülmüştür (Iddir vd., 2020). Başka bir deney hayvanları ile yapılan bir çalışmada ise, E vitamini takviyesinin, hücre içi parazitlere karşı pro-inflamatuvar yanıt üreten sitokin seviyelerinin azaltılması ile akciğer kaynaklı patoloji ve mortaliteyi azalttığı bulunmuştur (Han vd., 2000). Viral enfeksiyon açısından yapılan çalışmalarda ise, E vitamini eksikliğinin farelerde bir çeşit RNA virüsü olan koksaki virüs B3 enfeksiyonuna, buzağılarda ise sığır koronavirüs enfeksiyonuna neden olduğu görülmüştür (Zhang & Liu, 2020).

E vitamininin, oksidatif stresi azaltmak için oksijen türlerini temizleyerek immünomodülatör ve antioksidan etki gösterebileceği genel olarak kabul edilmektedir (Zabetakis vd., 2020). E vitamini takviyesinin (135 mg/gün), yaşlılarda üst solunum yolu enfeksiyon riskini azalttığı bulunmuştur (Meydani vd., 2004). Başka bir çalışmada ise, E vitamini (50 mg/gün) desteğinin yaşlı bireylerde pnömöni insidansını %69 oranında azalttığı görülmüştür (Iddir vd., 2020). Ancak, E vitamininin (200 mg/gün) yaşlı bir popülasyonda solunum yolu enfeksiyonlarının insidansı veya şiddeti üzerinde bir etki etmediğini gösteren çalışma da bulunmaktadır (Graat vd., 2002). Ortaya çıkan tutarsız sonuçlar, E vitamininin uygulanmasındaki farklılıklardan kaynaklanabilir. Ayrıca, apolipoprotein E, lipoprotein lipaz ve alfa-tokoferol transfer proteini dahil olmak üzere E vitamini metabolizması ile ilgili genlerdeki polimorfizmler, E vitamininin fonksiyonunu etkileyebilir.

E vitamininin antioksidan ve anti-inflamatuvar özellikleri ile birlikte, immünomodülatör ve antimikrobiyal aktivitelerinde de önemli rol oynadığı hayvan ve insan çalışmalarında görülmüştür. Bu nedenle, Covid-19 tanısı almış hastalarda görülebilecek ARDS'ye karşı etkili olabileceği düşünülebilir. Ancak, şu ana kadar SARS-CoV-2 enfeksiyonu olan hastalarda E vitamini takviyelerinin etkinliği hakkında önemli bir kanıt bulunmamaktadır.

5. C Vitamini

Askorbik asit olarak bilinen C vitamini, suda çözünen bir vitamin olup, hücre ve dokulardaki antioksidan sistemin önemli bir bileşenidir (Adams vd., 2020; Boretti & Banik, 2020; Zabetakis vd., 2020; Zhang & Liu, 2020). Hormon üretimi, kollajen biyosentezi ve bağışıklığı güçlendirme gibi fizyolojik reaksiyonlar için C vitamini gereklidir (Jayawardena vd., 2020). Bununla birlikte, C vitamininin biyosentetik ve gen düzenleyici monoksijenaz ve dioksijenaz enzimleri için kofaktör görevi bulunmaktadır (Iddir vd., 2020). Çoğunlukla C vitamini takviyeleri kullanılmasına rağmen, narenciye, çilek, yeşil yapraklı sebzeler ve domates gibi çeşitli sebze ve meyveler C vitamini açısından zengin kaynaklardır (Zabetakis vd., 2020).

C vitamini hem viral enfeksiyonları önlemek hem de ortaya çıkan ciddi hastalığı tedavi etmek için çeşitli fizyolojik özelliklere sahiptir (Adams vd., 2020). Bunlar arasında, nötrofillerin enfeksiyon bölgesine göçü, NK hücre aktivitesi, T lenfosit fonksiyonu, fagositoz ve ROS oluşumunu uyardığı bilinmektedir. Bununla birlikte, C vitamini nötrofil apoptozunu uyararak konak dokuyu hasardan korur ve makrofajların çıkarılmasına yardımcı olur (Calder vd., 2020; Iddir vd., 2020) (Şekil-1). Çeşitli eser elementler ve vitamin kombinasyonları ile yapılan takviyelerin, anti-viral bağışıklık yanıtı üzerinde faydalı etkiler gösterdiği belirtilmiştir (Jayawardena vd., 2020).

Düşük C vitamini düzeyi, soğuk algınlığı ve aynı zamanda pnömöni olan bireyler için, C vitamini desteğinin etkisi tartışılmaktadır (Iddir vd., 2020). Bununla birlikte, özellikle yaşlı bireylerde azalan bağışıklık hücre fonksiyonuna bağlı olarak enfeksiyonlara karşı hassasiyet bulunmaktadır. Ayrıca, yaşlılarda düşük plazma ve lökosit konsantrasyonları ile gösterilen düşük C vitamini konsantrasyonlarının (<17 µmol/L), tüm nedenlere bağlı mortalite ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Carr & Maggini, 2017). Bazı çalışmalarda, günde 200 mg veya daha fazla C vitamini alımının soğuk algınlığı şiddetini ve süresini kısaltma gibi olumlu etkileri bulunduğu görülmüştür (Carr & Maggini, 2017; Iddir vd., 2020; Jayawardena vd., 2020). Ayrıca, C

vitamini takviyesinin fiziksel stres altındaki bireylere profilaktik olarak verildiğinde enfeksiyon riskini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir (Calder vd., 2020). Ancak randomize-kontrollü çalışmaların dahil edildiği bir meta-analizde, C vitamini takviyesinin (1 g/gün), üst solunum yolu enfeksiyonlarını önlemediği sadece hafiflettiği bildirilmiştir (Hemilä & Chalker, 2020). Çok düşük C vitamini seviyesine sahip ciddi pnömöni vakalarında, C vitamini takviyesinin solunum semptom skorunu düşürdüğü görülmüştür. Başka bir çalışmada ise, pnömöni hastalarında yüksek doz C vitamini desteğinin (0.5-1.6 g/gün) hastanede kalma süresini %36 oranında azalttığı belirtilmiştir (Carr & Maggini, 2017).

Koronavirüs, önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, ölümcül akciğer yaralanmalarına ve ARDS'ye neden olabilecek pandemik virüsler arasındadır (Adams vd., 2020; Cheng, 2020). Viral enfeksiyonlar, akciğer kılcal endotel hücre aktivasyonuna, nötrofil infiltrasyonuna ve artmış oksidatif strese yol açan "sitokin fırtınası"na neden olabilmektedir (Boretti & Banik, 2020; Cheng, 2020). Bununla ilgili olarak Boretti ve Banik (2020), C vitamininin bağışıklık sistemi yanıtı üzerindeki etkileri, antiviral ve antioksidan özellikleri göz önüne alındığında, Covid-19 tanısı almış hastalarda ortaya çıkabilecek ARDS üzerinde etkili olabileceğini belirtmiştir. Hemila ve ark. (2019), yüksek doz intravenöz (IV) C vitamini infüzyonlarının (200 mg/kg/gün, 4 doz), yoğun bakım ünitesindeki (YBÜ) ölüm oranlarında önemli bir azalma sağladığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, Çin'de yüksek doz IV-C vitamini infüzyonu, Covid-19 tanısı almış hastalar üzerinde olumlu etkiler göstermiştir (Cheng, 2020).

SARS-CoV-2 enfeksiyonu olan hastalarda C vitamininin olumlu etkisini gösteren kesin kanıtlar olmamasına rağmen, C vitamini takviyesinin soğuk algınlığı gibi üst solunum yolu enfeksiyonlarına ve ARDS'ye karşı etkili olabileceği düşünülebilir. Bununla birlikte, Covid-19'lu hastalarda da IV-C vitamini infüzyonu ile çalışmalar olmasına rağmen, yetersizdir. C vitamininin enfeksiyon hastalıklarındaki etkisi nedeni ile, Covid-19 tedavisindeki rolünün daha çok araştırılması gerekmektedir.

6. B₁₂ Vitamini

B vitaminleri, hücre enerji metabolizmasında ve organik molekül sentezinde rol alan koenzimler olarak bilinmektedir (Iddir vd., 2020; Mikkelsen & Apostolopoulos, 2019). B grubu vitaminlerinden B₁₂ vitamini, DNA sentezi, protein sentezi, hücre bakımı ve hücre proliferasyonundaki rolleri ile hayati öneme sahiptir. Bu fonksiyonlara bakıldığında, B₁₂ vitamini eksikliği durumunda hücre aracılı bağışıklık ve humoral bağışıklık durumları tehlikeye girer ve bağışıklık hücreleri üzerinde çeşitli etkiler görülür (Mikkelsen & Apostolopoulos, 2019). Karaciğer, balık, yumurta, süt ve süt ürünleri B₁₂ vitamini içermektedir (Yoshii vd., 2019).

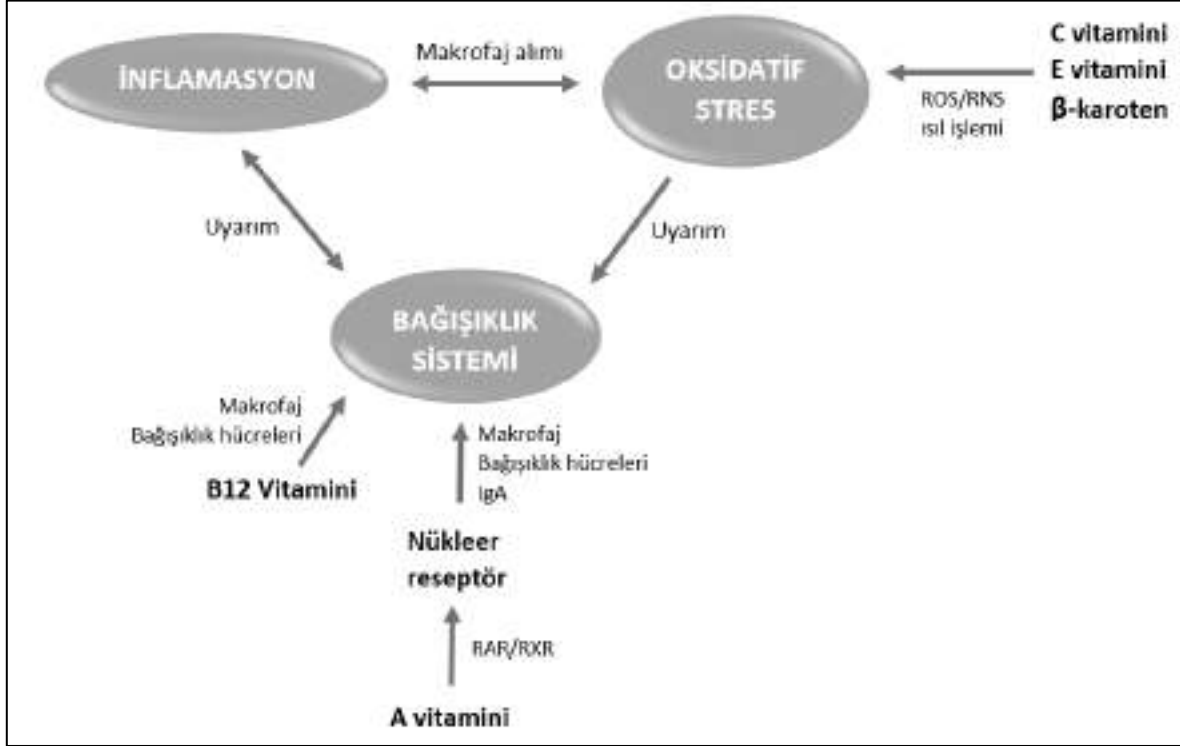
Yapılan çalışmalarda, B₁₂ vitamininin bir immünomodülatör olarak işlev görebildiği belirtilmiştir. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada, B₁₂ vitamin eksikliği olan hastalara kobalamin desteği verildiğinde CD4+/CD8+ oranının ve bastırılmış NK hücre aktivitesinin arttığı görülmüştür (Tamura vd., 1999). B₁₂ vitamini ve monosit işlevleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bir araştırmada, B₁₂ vitamin eksikliği olan farelerin makrofaj hücrelerinde tümör nekrozis faktör-α (TNF-α) sentezinin arttığı görülmüştür (Mikkelsen & Apostolopoulos, 2019). Deney hayvanları üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise, B₁₂

vitamini ve folik asit seviyeleri arasındaki dengesizliğin, kısa süreli beslenme tedavisinden sonra NK sitotoksitesi ve B lenfosit parametrelerini iyileştirdiği bulunmuştur (Partearroyo vd., 2013). Bu durum, folik asit ve B12 vitamini metabolizmalarının homosistein ile ilişkili olmasından kaynaklı olabilir. Çünkü homosistein oksidatif stresle ilişkilidir ve folik asit ile B12 vitamin eksikliğinde artmaktadır (İddir vd., 2020). Bu nedenle, vitaminler arasındaki dengenin, bağışıklık tepkisi için önemli olduğu söylenebilir (Şekil-1).

B12 vitamini takviyesinin, hayvan modellerinde virüs ve bakteri kaynaklı enfeksiyonları azaltmada etkili olduğu gösterilmiştir (İddir vd., 2020; Tamura vd., 1999). Poudel-Tandukar ve ark. (2016) yaptığı bir çalışmada, İnsan Bağışıklık Yetmezliği Virüsü (HIV) pozitif hastalarda, sırasıyla niasin, piridoksin ve kobalamin alımının azalmış CRP ile anlamlı derecede ilişkili olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, HIV ile enfekte olmuş hastalarda B vitamini eksiklikleri ile birlikte inflamatuvar riski yaygındır. Bu durum, azalan B grup vitamin takviyesinin artan viral enfeksiyon süreci ile ilişkili olabilir (Poudel-Tandukar & Chandyo, 2016).

Coronaviridae ailesinden olan SARS-CoV-2, tek sarmallı RNA genomuna sahiptir. Genom, viral replikasyondan sorumlu nsp12 proteinini kodlamaktadır. Yapılan bir çalışmada, SARS nsp12'nin (6NUR) yapısı kullanılarak bir nsp12 homoloji modeli hazırlanmıştır. Bu model, B12 vitamini bağlanma bölgesi, gelen nükleotit ile örtüşüğünü göstermiştir. Genel olarak çalışma, B12 vitaminin metilkobalamin formunun nsp12 proteininin etkili bir inhibitörü olabileceğini düşündürmektedir (Narayanan & Nair, 2020). Ayrıca, sanal tarama yapan bir araştırmada, geniş spektrumlu antiviral (Ribavirin), anti-hepatit B virüsü (Telbivudine), vitamin (B12 vitamini ve nikotinamid) ve diğer çeşitli etkili ilaçların Covid-19 tedavisi için kullanılabileceği belirtilmiştir (Kandeel & Al-Nazawi, 2020).

Güçlü bir bağışıklık sisteminin Covid-19 enfeksiyonunu önlemeye veya tedavi etmeye yardımcı olabileceği ve genel olarak vitaminlerin ve özellikle B12 vitaminin kullanımının bir etkisi olabileceği söylenebilir. Ancak, Covid-19'un hastaların önlenmesi ve tedavisinde B12 vitamin takviyesinin etkinliği hakkında güçlü veriler henüz yeterli değildir.



Şekil 1. Seçilen diyet bileşenleri, bağışıklık sistemi ve viral enfeksiyon arasındaki etkileşimleri gösteren şematik diyagram.

7. Sonuç

Covid-19 salgını dünya çapında insan yaşamı için önemli bir tehdit olmaya devam etmektedir. Bu patojene özgü aşı desteği ile birlikte, enfeksiyon insidansını veya şiddetini azaltan terapötik kullanımı ve önleme stratejileri uygulanmalıdır. Bu derlemede, Covid-19 ile ilişkili inflamasyonlara değinilmiş ve halen araştırılmakta olan anti-inflamatuvar özellikli besin öğeleri tartışılmıştır. Hayvan ve insan çalışmalarında A, E, C ve B12 vitaminlerinin bağışıklık sistemine karşı destekleyici rol oynadığı gösterilmiştir. Genel olarak, A, C, E ve B12 vitaminleri

gibi mikrobesein öğelerinin SARS-CoV-2 gibi viral enfeksiyonlara karşı etkili olabileceği düşünülmektedir, ancak daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynakça

Adams, K. K., Baker, W. L., & Sobieraj, D. M. (2020). Myth Busters: Dietary Supplements and COVID-19. The Annals of Pharmacotherapy, 1060028020928052. <https://doi.org/10.1177/1060028020928052>

- Beck, M. A. (1996). The role of nutrition in viral disease. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 7(12), 683-690. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(96\)00132-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(96)00132-5)
- Boretta, A., & Banik, B. K. (2020). Intravenous vitamin C for reduction of cytokines storm in acute respiratory distress syndrome. *Pharmanutrition*, 12, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2020.100190>
- Bulut, C., & Kato, Y. (2020). Epidemiology of COVID-19. *Turkish journal of medical sciences*, 50(SI-1), 563-570.
- Butler, M. J., & Barrientos, R. M. (2020). The impact of nutrition on COVID-19 susceptibility and long-term consequences. *Brain, Behavior, and Immunity*. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.04.040>
- Calder, P. C., Carr, A. C., Gombart, A. F., & Eggersdorfer, M. (2020). Optimal Nutritional Status for a Well-Functioning Immune System Is an Important Factor to Protect against Viral Infections. *Nutrients*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/nu12041181>
- Carr, A. C., & Maggini, S. (2017). Vitamin C and Immune Function. *Nutrients*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/nu9111211>
- Catanzaro, M., Fagiani, F., Racchi, M., Corsini, E., Govoni, S., & Lanni, C. (2020). Immune response in COVID-19: Addressing a pharmacological challenge by targeting pathways triggered by SARS-CoV-2. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41392-020-0191-1>
- Cheng, R. Z. (2020). Can early and high intravenous dose of vitamin C prevent and treat coronavirus disease 2019 (COVID-19)? *Medicine in Drug Discovery*, 5, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.medidd.2020.100028>
- De la Fuente, M., Hernanz, A., Guayerbas, N., Victor, V. M., & Arnalich, F. (2008). Vitamin E ingestion improves several immune functions in elderly men and women. *Free Radical Research*, 42(3), 272-280. <https://doi.org/10.1080/10715760801898838>
- Graat, J. M., Schouten, E. G., & Kok, F. J. (2002). Effect of daily vitamin E and multivitamin-mineral supplementation on acute respiratory tract infections in elderly persons: A randomized controlled trial. *JAMA*, 288(6), 715-721. <https://doi.org/10.1001/jama.288.6.715>
- Han, S. N., Wu, D., Ha, W. K., Beharka, A., Smith, D. E., Bender, B. S., & Meydani, S. N. (2000). Vitamin E supplementation increases T helper 1 cytokine production in old mice infected with influenza virus. *Immunology*, 100(4), 487-493. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2567.2000.00070.x>
- Hemilä, H., & Chalker, E. (2019). Vitamin C Can Shorten the Length of Stay in the ICU: A Meta-Analysis. *Nutrients*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/nu11040708>
- Hemilä, H., & Chalker, E. (2020). Vitamin C as a Possible Therapy for COVID-19. *Infection & Chemotherapy*, 52. /Synapse/10.3947/ic.2020.52.e22
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., ... Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet (London, England)*, 395(10223), 497-506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- Huang, Z., Liu, Y., Qi, G., Brand, D., & Zheng, S. G. (2018). Role of Vitamin A in the Immune System. *Journal of Clinical Medicine*, 7(9). <https://doi.org/10.3390/jcm7090258>
- Iddir, M., Brito, A., Dinguo, G., Fernandez Del Campo, S. S., Samouda, H., La Frano, M. R., & Bohn, T. (2020). Strengthening the Immune System and Reducing Inflammation and Oxidative Stress through Diet and Nutrition: Considerations during the COVID-19 Crisis. *Nutrients*, 12(6), 1562. <https://doi.org/10.3390/nu12061562>
- Jayawardena, R., Sooriyaarachchi, P., Chourdakis, M., Jeewandara, C., & Ranasinghe, P. (2020). Enhancing immunity in viral infections, with special emphasis on COVID-19: A review. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(4), 367-382. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.015>
- Jee, J., Hoet, A. E., Azevedo, M. P., Vlasova, A. N., Loerch, S. C., Pickworth, C. L., Hanson, J., & Saif, L. J. (2013). Effects of dietary vitamin A content on antibody responses of feedlot calves inoculated intramuscularly with an inactivated bovine coronavirus vaccine. *American Journal of Veterinary Research*, 74(10), 1353-1362. <https://doi.org/10.2460/ajvr.74.10.1353>
- Kandeel, M., & Al-Nazawi, M. (2020). Virtual screening and repurposing of FDA approved drugs against COVID-19 main protease. *Life Sciences*, 251, 117627. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.117627>
- Lauridsen, C. (2019). From oxidative stress to inflammation: Redox balance and immune system. *Poultry Science*, 98(10), 4240-4246. <https://doi.org/10.3382/ps/pey407>
- Lee, G. Y., & Han, S. N. (2018). The Role of Vitamin E in Immunity. *Nutrients*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/nu10111614>
- Meydani, S. N., Barklund, M. P., Liu, S., Meydani, M., Miller, R. A., Cannon, J. G., Morrow, F. D., Rocklin, R., & Blumberg, J. B. (1990). Vitamin E supplementation enhances cell-mediated immunity in healthy elderly subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 52(3), 557-563. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.3.557>
- Meydani, S. N., Leka, L. S., Fine, B. C., Dallal, G. E., Keusch, G. T., Singh, M. F., & Hamer, D. H. (2004). Vitamin E and respiratory tract infections in elderly nursing home residents: A randomized controlled trial. *JAMA*, 292(7), 828-836. <https://doi.org/10.1001/jama.292.7.828>
- Mikkelsen, K., & Apostolopoulos, V. (2019). Vitamin B12, Folic Acid, and the Immune System. İçinde M. Mahmoudi & N. Rezaei (Ed.), *Nutrition and Immunity* (ss. 103-114). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16073-9_6
- Muscogiuri, G., Barrea, L., Savastano, S., & Colao, A. (2020). Nutritional recommendations for CoVID-19 quarantine. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(6), 850-851. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0635-2>
- Narayanan, N., & Nair, D. T. (2020). Vitamin B12 May Inhibit RNA-Dependent-RNA Polymerase Activity of nsp12 from

- the SARS-CoV-2 Virus.
<https://doi.org/10.20944/preprints202003.0347.v1>
- Partearroyo, T., Úbeda, N., Montero, A., Achón, M., & Varela-Moreiras, G. (2013). Vitamin B12 and Folic Acid Imbalance Modifies NK Cytotoxicity, Lymphocytes B and Lymphoproliferation in Aged Rats. *Nutrients*, 5(12), 4836-4848. <https://doi.org/10.3390/nu5124836>
- Poudel-Tandukar, K., & Chandyo, R. K. (2016). Dietary B Vitamins and Serum C-Reactive Protein in Persons With Human Immunodeficiency Virus Infection: The Positive Living With HIV (POLH) Study. *Food and Nutrition Bulletin*, 37(4), 517-528. <https://doi.org/10.1177/0379572116657268>
- Semba, R. D., & Tang, A. M. (1999). Micronutrients and the pathogenesis of human immunodeficiency virus infection. *The British Journal of Nutrition*, 81(3), 181-189. <https://doi.org/10.1017/s0007114599000379>
- Tamura, J., Kubota, K., Murakami, H., Sawamura, M., Matsushima, T., Tamura, T., Saitoh, T., Kurabayashi, H., & Naruse, T. (1999). Immunomodulation by vitamin B12: Augmentation of CD8+ T lymphocytes and natural killer (NK) cell activity in vitamin B12-deficient patients by methyl-B12 treatment. *Clinical and Experimental Immunology*, 116(1), 28-32. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2249.1999.00870.x>
- Trasino, S. E. (2020). A Role for Retinoids in The Treatment of Covid-19? *Clinical and Experimental Pharmacology & Physiology*. <https://doi.org/10.1111/1440-1681.13354>
- Trottier, C., Colombo, M., Mann, K. K., Miller, W. H., & Ward, B. J. (2009). Retinoids inhibit measles virus through a type I IFN-dependent bystander effect. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 23(9), 3203-3212. <https://doi.org/10.1096/fj.09-129288>
- West, C. E., Sijtsma, S. R., Kouwenhoven, B., Rombout, J. H. W. M., & van der Zijpp, A. J. (1992). Epithelia-Damaging Virus Infections Affect Vitamin A Status in Chickens. *The Journal of Nutrition*, 122(2), 333-339. <https://doi.org/10.1093/jn/122.2.333>
- Wu, D., Wu, T., Liu, Q., & Yang, Z. (2020). The SARS-CoV-2 outbreak: What we know. *International Journal of Infectious Diseases*, 94, 44-48. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.004>
- Xu, Z., Shi, L., Wang, Y., Zhang, J., Huang, L., Zhang, C., Liu, S., Zhao, P., Liu, H., Zhu, L., Tai, Y., Bai, C., Gao, T., Song, J., Xia, P., Dong, J., Zhao, J., & Wang, F.-S. (2020). Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *The Lancet. Respiratory Medicine*, 8(4), 420-422. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30076-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30076-X)
- Yoshii, K., Hosomi, K., Sawane, K., & Kunisawa, J. (2019). Metabolism of Dietary and Microbial Vitamin B Family in the Regulation of Host Immunity. *Frontiers in Nutrition*, 6, 48. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00048>
- Yuan, S., Chu, H., Chan, J. F.-W., Ye, Z.-W., Wen, L., Yan, B., Lai, P.-M., Tee, K.-M., Huang, J., Chen, D., Li, C., Zhao, X., Yang, D., Chiu, M. C., Yip, C., Poon, V. K.-M., Chan, C. C.-S., Sze, K.-H., Zhou, J., ... Yuen, K.-Y. (2019). SREBP-dependent lipidomic reprogramming as a broad-spectrum antiviral target. *Nature Communications*, 10(1), 120. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08015-x>
- Zabetakis, I., Lordan, R., Norton, C., & Tsoupras, A. (2020). COVID-19: The Inflammation Link and the Role of Nutrition in Potential Mitigation. *Nutrients*, 12(5), 1466. <https://doi.org/10.3390/nu12051466>
- Zhang, L., & Liu, Y. (2020). Potential interventions for novel coronavirus in China: A systematic review. *Journal of Medical Virology*, 92(5), 479-490. <https://doi.org/10.1002/jmv.25707>
- Zhou, P., Yang, X.-L., Wang, X.-G., Hu, B., Zhang, L., Zhang, W., Si, H.-R., Zhu, Y., Li, B., Huang, C.-L., Chen, H.-D., Chen, J., Luo, Y., Guo, H., Jiang, R.-D., Liu, M.-Q., Chen, Y., Shen, X.-R., Wang, X., ... Shi, Z.-L. (2020). A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 579(7798), 270-273. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>



Alternatif Yakıt Biyogaz Potansiyelinin Model Bir İlçe için Araştırılması

Oğuz Yunus Sarıbiyik^{1*}, Rahman Kılıç²

^{1*} Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, 29100, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9735-8735), oysaribiyik@gumushane.edu.tr

² Gümüşhane Üniversitesi, Şiran Mustafa Beyaz Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 29700, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6649-1776), toprak.rk@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 9 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.893481)

ATIF/REFERENCE: Sarıbiyik, O. Y. & Kılıç, R. (2021). Alternatif Yakıt Biyogaz Potansiyelinin Model Bir İlçe için Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 192-197.

Öz

Dünya nüfusunun artışı ve teknolojik gelişmeler sebebiyle ortaya çıkan gıda ve enerji talebini karşılayabilmek için araştırmalar yoğun şekilde devam etmektedir. Enerji ihtiyacını giderebilmek için arz doğal gaz, kömür, petrol gibi fosil kaynaklı yakıtlardan ya da nükleer kaynaklardan sağlanmaktadır. Fosil kaynakların miktarının sınırlı olması ve oluşturduğu sera gazı etkisi sebebiyle alternatif enerji araştırmaların birçoğu biyodizel, biyogaz, rüzgâr, güneş enerjisi gibi yenilenebilir yakıtlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Sera gazı etkisini oluşturan gazlar içerisinde karbondioksit ile birlikte metanojen bakterileri tarafından üretilen metan(bataklık-biyogaz) gazları önemli bir yer tutmaktadır. Uygulanabilirliği, sürdürülebilirliği, düşük üretim maliyeti, sera gazı oluşumunu azaltması ve süreç sonucu elde edilen biyokütle organik gübre olarak kullanılabilmesinden dolayı biyogaz üretimi alternatif yakıtlar içerisinde ön plana çıkmaktadır. Bu amaçla, birçok ülkede biyogaz üretimi ve buna bağlı oluşan biyogübrenin tarımda kullanımı artarak devam ederken ülkemizin bu alandaki potansiyelinin yeterince belirlenemediği görülmektedir.

Yapılan bu çalışmada ülkemizin bir ilçesi model olarak incelenerek toplam biyokütle potansiyeli belirlenmiş ve biyokütle potansiyeline bağlı olarak elde edilebilecek biyoenerji miktarı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, model ilçenin biyokütle potansiyelinin ilçenin enerji ihtiyacının üzerinde olduğu ve biyogaz üretimi sonrası oluşacak biyogübrenin kullanımı ile toprak kirliliğine sebep olan inorganik gübre kullanımının azaltılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Biyoyakıt, Biyogaz Potansiyeli.

The Investigation of the Alternative Fuel Biogas Potential for Model Town

Abstract

The investigations have been intensively continuing for responding of energy and food demand depending on the world population increase and the development of the industrial progression. The energy necessities eliminate by using fossil fuels based sources such as natural gas, coal and petrol. However, the amount of the fossil fuels is limited and they create the green houses gas problems, therefore, many of the researches have been focusing on new sustainable alternative energy sources, such as wind power, biodiesel, biogas, solar and biomass. The methane which is released by the methanogen bacteria is occupy a places in green gases which are carbon dioxide and methane. Biogas as an alternative biofuel has higher impact in alternative fuels because of its applicability, sustainability, low production cost, keep the greenhouse gases in balance and produces bio-fertilizer after digestion processes. In those purposes, the biogas investment and investigation increases for all over the world however the potential of biomass conversion and the examination for bio gas production have paid less concern in our country.

In this study, the potential biomass and the amount of the biogas depending on the biomass potential have been investigated on one of the model town, Şiran in Gümüşhane. According to obtained results, it is seen that the biomass potential and the amount of the biogas production are highly enough for model town for natural gas demand and using bio fertilizer which is produced after digestion of biomass can be decreased by the utilization of the synthetic inorganic fertilizer, causing for soil pollution.

Keywords: Biogas, Biofuels, Biogas Potential.

* Sorumlu Yazar: oysaribiyik@gumushane.edu.tr

1. Giriş

Enerji tüketim miktarı dünya nüfusunun çoğalması ve sanayideki teknolojik gelişmelere bağlı olarak artırmaktadır. Enerji arzının büyük bir kısmı fosil kökenli kömür, doğal gaz, motorin gibi kaynaklardan sağlandığından oluşan sera gazı etkisi çevresel problemlere sebep olmaktadır (Kalinichenko & Havrysh, 2019; Sharma et al., 2020; Stolarski et al., 2020). Buna bağlı olarak atmosferdeki fosil kaynaklı karbondioksit artışı 1900 yılında yaklaşık 280 ppm iken günümüzde 409 ppm olarak belirlenmektedir (Lindsey, 2021). Bu artışa bağlı olarak ortaya çıkan sera gazı etkisi sebebiyle küresel ısınma gerçekleşmektedir. Küresel ısınma; seller, kuraklıklar ve kutuplardaki buzulların erime hızının artması gibi mevsimsel değişimlere bağlı doğal felaketlere sebep olmaktadır. Fosil kaynak tüketimi nedeniyle oluşan küresel ısınmanın alternatif enerjiler kullanılarak azaltılması gerekmektedir. Alternatif ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaçtan dolayı biyodizel, biyogaz, rüzgâr, güneş, dalga, jeotermal enerji ve biyogaz gibi alternatif yakıtlar yoğun şekilde araştırılmaktadır (Patel et al., 2020; Raja & Wazir, 2017; Ren et al., 2020; Rudreshwar & Balakrishnan, 2020; Sarıbiyık et al., 2010; Q. L. Y. Zhang et al., 2020; Zhou et al., 2021). Hammade miktarı ve ulaşımı, kullanım kolaylığı, üretim süreci sonucu oluşan biyogübre potansiyeli gibi faktörlerden dolayı biyogaz üretimi alternatif yakıtlar içerisinde biraz daha ön plana çıkmaktadır (Cestonaro et al., 2015; Chuanchai & Ramaraj, 2018; Feiz et al., 2020; Panuccio et al., 2016; Quintanar-Orozco et al., 2018). Biyogaz üretimi doğadaki organik maddelerden ve atıklardan metonajen bakterileri tarafından kendiliğinden gerçekleştirilir ancak oluşan metan gazı karbondioksitle birlikte üretilen sera gazının etkinliğini artırırken hava kirliliğine de sebep olmaktadır (Khalil, 2003; Pochwatka et al., 2020). Araştırmalar eğer dünyadaki metan salınımı son 20 yıldaki gibi devam ederse, metanın küresel ısınmaya etkisinin karbondioksitten 84 kat daha güçlü olacağını belirtmektedir (Chukeaw et al., 2021). Dünyada 6 milyar ton/yıl atık oluşurken kişi başı atık üretimi ise 165-225 kg/yıl olarak hesaplanmaktadır (Ferreira et al., 2019; Pavi et al., 2017; Scarlet et al., 2018; Siddique et al., 2020). Bu atıkların oluşturduğu hava kirliliği ve küresel ısınmaya ek olarak doğaya salınan metan gazının yaklaşık %59'unun zirai kökenli olduğu tespit edilmiştir (Pochwatka et al., 2020). Organik kökenli atıklardan kontrollü şekilde biyogaz üreterek alternatif enerji miktarını artırmak gerekmektedir. Bu sebeple, büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan atıklarının yanı sıra alglerden, peynir alt suyundan, dikenli incirden meyve atıklarından, kahve atıkları gibi atıklardan biyogaz üretilmektedir (Battista et al., 2016; Comino et al., 2009; Lanari & Franci, 1998; Montingelli et al., 2015; Quiroz et al., 2021; Spence et al., 2019; Thompson et al., 2021; Tsigkou et al., 2021). Tüm atıklardan uygun şartlarda biyogaz üretimi yapılmasıyla bunlardan kaynaklanan kötü görünüm, koku giderilerek, bulaşıcı hastalık risklerinin önüne geçilecek ve küresel ısınma azaltılarak hava kirliliğinin de önüne geçilir (Agency(EPA), 2021; Kalinichenko & Havrysh, 2019). Bunlara ek olarak, tarım arazilerindeki organik atıklardan biyogaz üretimi ile bu maddelerin anız olarak yakılması engellenerek tarım arazilerindeki ekosistem korunmaktadır. Biyogaz üretimi sonucu elde edilen organik gübreler sentetik gübrelerin yerine kullanılarak toprakta oluşan tuzluluğu azaltacağı için özellikle fosforlu sentetik gübrelerden gelen Kadmiyum (Cd) ağır metal kirliliği azaltılmaktadır (Abubaker et al., 2012; Boreka & Romaniuk, 2020; Huang et al., 2018; Ma

et al., 2017; Valentinuzzi et al., 2020). Tarım arazilerinde kullanılan biyogübreler hem toprağın tuzluluk miktarının dengeli kalmasını hem de toprak veriminin organik gübreleme yöntemiyle artırılmasını sağlamaktadır (Siddique et al., 2020).

Dünya genelinde fosil kaynaklı yakıtların oluşturduğu sera gazı etkisine bağlı olarak meydana gelen iklimsel değişiklikler, vahşi sulama ve sentetik gübre kullanımı sebebiyle tuzluluk miktarının artması tarımsal yıllık toplam ürün miktarının düşmesine sebep olmaktadır. Bunlara ek olarak, ülkemizde biyogaz üretimi fosil kaynaklı yapılan yakıt ithalatını azaltacağı için ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Yapılan araştırmalar neticesinde ülkemizin biyogaz üretim kapasitesinin mevcut duruma göre daha fazla olduğu ancak bu potansiyeli ortaya çıkartacak ve uygulayacak çalışmalarda bir takım eksiklikler olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, model ilçe olarak Gümüşhane ili Şiran ilçesi biyogaz üretimine yönelik biyokütle potansiyeli ve bu potansiyele bağlı olarak elde edilebilecek biyogaz miktarı yapılan deneysel çalışmalar genişletilerek ve önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Elde edilecek biyogaz ile ilçenin gaz tüketiminin ne kadarının karşılanabileceği, biyogaz üretimi sonucunda oluşacak biyogübrenin kullanımı ile sentetik gübre kullanımının azaltılabileceği ve ülke ekonomisine katkıları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hayvansal ve tarımsal biyokütlelerin kullanılabilmesi sonucu elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin ilçenin gaz tüketimini rahatlıkla karşılayabileceği ve biyogaz üretiminden sonra oluşan biyogübrenin kullanımı ile hem tarımsal arazilerin veriminin artırılacağı hem de tarım topraklarının kirliliğinin önüne geçilebileceği görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

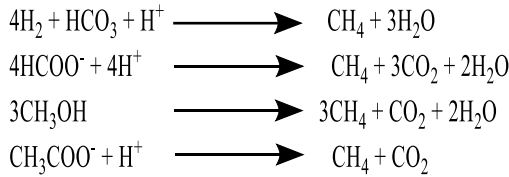
Biyogaz üretimi gerçekleştirilirken hayvansal, evsel ve tarımsal biyokütle kaynakları kullanılabilir. Bu bağlamda deneysel çalışmalarda biyogaz üretimi için 50 litrelik laboratuvar tipi 316 paslanmaz çelik metalden üretilmiş, sızdırmaz, elektrik ısıtıcılı ve mekanik karıştırıcılı (dip süpürmeli) pilot biyoreaktörden elde edilen sonuçlar ve önceki çalışma sonuçları temel alınarak hesaplanmıştır. Reaktörde oluşan gaz miktarı G4-ECA doğal gaz ölçüm sayacı ile gaz analizleri ise portatif Geotech G5000 gaz analizörü kullanılarak yapılmıştır. Biyogaz üretiminde elde edilen gazların belirlenmesi için numune alma işlemlerinde Flexfoilplus numune çantası kullanılıp gazlar Agilent(6820) gaz kromatografisi kolon (molesieve 5A 30m x0.53mmx50µm) kullanılarak belirlenmiştir. Biyogaz üretiminde % 60 kaba ve % 40 yoğunlaştırılmış yemle beslenen 5 yaşında dişi (Simental) büyükbaş hayvanlardan temin edilen biyokütle günlük olarak kullanılmıştır. Deneylerde biyokütle ağırlık ölçümleri (ıslak ağırlık biyokütle oluşumundan itibaren 12 saat içerisinde) alınarak yapılmıştır. Fermantasyon 37 °C'de 5devir/dk karıştırma hızıyla 30 gün sürede gerçekleştirilmiştir. Fermantasyonda 13 kg biyokütle ile 13 kg saf su reaktörde 50 dk/devir ile 5 dk 275 devir/dk ön karıştırma uygulanıp (biyokütle: su oranları 1:1 olacak şekilde) deney seti 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 0.5 m³/ton biyogaz üretilmiştir. Reaktöre ekstra besi ilavesi ve bakteri aşılması yapılmamıştır. Biyogaz potansiyeli için canlı grubun oluşturduğu biyokütleler ve tarım arazilerinden elde edilen ve biyogaz üretme potansiyeline sahip materyaller Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve model ilçe belediyesi verilerine göre hazırlanmıştır ((TÜİK), 2020).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Biyogaz oluşumunda; metanojen bakterileri (oksijensiz, biyolojik ve mikrobiyal bozunma) süreçlerini kullanarak büyük organik molekülleri uygun şartlarda ve farklı basamaklarda daha küçük moleküller haline getirmektedir (**Tablo-1**). Görünümü renksiz, yanıcı, ana bileşenleri metan ve karbondioksit olan, eser miktarda hidrojen sülfür, azot, oksijen ve karbon monoksit içeren gübre gazı, bataklık gazı gibi adlarla da bilinen bir gaz karışımıdır ve yanma enerjisi 5200 kcal/Nm³ olarak belirlenmiştir (Ferreira et al., 2019).

Biyogaz üretiminde genel olarak kullanılan organik madde miktarının %40-60 kadarı biyogaza dönüştürülür (Havrysh et al., 2020). Organik biyokütle içerisinde bulunan karbonhidrat, protein, yağlar, lignin ve selüloz gibi büyük moleküller öncelikle enzimatik basamaklarla daha küçük moleküllere dönüştürülmektedir. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra metanojen bakterileri devreye girerek biyogaz (metan ve karbondioksit) oluşumunu sağlamaktadırlar (**Tablo-3**) (Xue et al., 2020).

Biyogaz üretiminde kullanılan metanojenik bakteriler; asidogenik, asetat kullanan (asetotrofik) metanojenler ve (hidrojenotrofik) hidrojen kullanan bakteriler olarak üç ayrı grupta incelenirler (Kushkevych et al., 2017). Asidogenik bakteriler tekli alkol bileşikleri oluştururlar ve diğer asetotrofik metanojen bakteriler asetat molekülünü karbondioksit ve metana dönüştürürler. Hidrojen kullanan bakteriler ise elektron kaynağı olarak hidrojeni, karbondioksiti de hidrojen kabul edici olarak metan gazını üretmektedirler. (**Şekil-1, Tablo-1**) (Yin et al., 2019).



Şekil 1. Biyogaz Oluşum Aşamaları

Tablo 1. Fermantasyona Giren Polimerik Bileşiklerin Metan Gazına Oluşum Döngüsü (Raja & Wazir, 2017)



Türkiye mevcut sanayi birikimi, tarım ve hayvancılık potansiyeli incelendiğinde biyogaz gibi alternatif enerjiler açısından zengin kabul edilebilecek yeterli varlığa sahiptir. Diğer dünya devletleri ile kıyaslandığında alternatif enerji üretiminin mevcut potansiyele göre yetersiz kaldığı ancak biyokütleyle bağlı biyogaz üretiminin rahatlıkla artırılacağı görülmektedir.

Yapılan hesaplamalarda Türkiye’de sadece hayvansal biyokütle kaynaklarının biyogaz üretiminde kullanılmasıyla ülkenin 2019 doğal gaz tüketim değerlerine göre yaklaşık %4'lük kısmının karşılanabileceği görülmektedir. Dünya devletleri 2050 yılı karbon salınımına bağlı sera gazı seviyesini azaltmak için hazırlanan yol haritasına göre alternatif enerji kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu sebeple, Çin ve özellikle doğu Avrupa devletleri alternatif enerji kaynakları olarak biyogaz üretimi üzerine yatırımlarını ve araştırmalarını artırmaktadır (Agency, 2020; Balussou, 2018; Benato & Macor, 2019; Cucchiella et al., 2019; Eyl-Mazzega & Mathieu, 2019; Ferreira et al., 2019; Gu et al., 2016; Havrysh et al., 2020; Lukehurst et al., 2010; Meyer et al., 2018; Murray et al., 2014; Niskanen & Magnusson, 2021; Scarlet et al., 2018; Sif et al., 2014; Winquist et al., 2019; Yin et al., 2019).

Tablo 2. Model İlçe Bitkisel ve Hayvansal Kökenli Atık Biyogaz Miktarı ve Enerji Potansiyeli

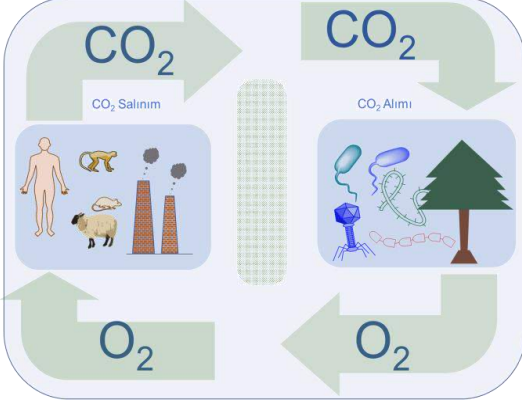
Hayvan Cinsi	Hayvan sayısı	Biyokütle (ton)/yıl	Biyogaz verimi m ³ /ton
Büyükbaş	18.937	13.7	0.1-260
Küçükbaş	8.580	0.88	58
Kanatlı	11.630	0.047	78
Ürün çeşidi	Ekilen Alan (da)	Artık miktarları kg/da	Biyogaz verimi m ³ /ton
Arpa	7.149	234	168
Aspir	6.400	200	140
Buğday	4.800	225	188
Mısır	45.673	9.000	451
Yeşil ot*	30.850	5.100	140
Hayvansal/ Bitkisel Biyogaz	Biyogaz (m ³ /yıl)	Isıl Değer (GJ/m ³)	Isıl Değeri (GJ)
Hayvansal	396.284	0,024	9.511
Bitkisel	3.067.762		73.626
Toplam	3.464.046		83.137

*Yeşil ot(korunga, fiğ, yonca vs.)

Bu bağlamda ülkemizde hazırlanan eylem planları kapsamında alternatif enerjiler için devlet desteklerine bağlı olarak özel sektör yatırımları artmaktadır. Biyogaz üretimi, büyükbaş hayvanlardan elde edilen biyokütle miktarına, biyogaz üretim yöntemine, beslenmeye, reaktör türüne, metanojen bakteri türleri gibi parametrelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Alfa et al., 2014; Amon et al., 2007; Basse et al., 2013; Bernard et al., 2020; Hidayati et al., 2019; India, 2021; Li et al., 2020; Malik et al., 2020; Z. Zhang et al., 2016). Bu sebeple, yapılan hesaplamalarda daha önce yapılan çalışmalar incelenip bu çalışmada deneysel elde edilen sonuçların ortalaması (0.5 m³/ton) kullanılmıştır (Abdallah et al., 2018; Alfa et al., 2014; Amon et al., 2007; Association, 2021; Basse et al., 2013; Bernard et al., 2020; Hasan et al., 2018; Hidayati et al., 2019; India, 2021; Li et al., 2020; Malik et al., 2020; Selvankumar et al., 2017; Yohannes, 2010; Z. Zhang et al., 2016). Enerji hesaplamalarında elde edilen toplam biyogaz içerisindeki arındırılmış biyogaz (upgrade biomethane) miktarı ölçüm sonuçlarına göre elde edilen değerler (% 65 metan) kullanılarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin sadece hayvansal biyokütle potansiyeline bakıldığında, Haziran 2020 TÜİK

verilerine göre, sığır, koyun-keçi ve tavuk-hindi vb. gibi toplam 295.278.329 hayvandan, yılda yaklaşık olarak 71.772.630 ton yaş gübre elde edilmektedir ((TÜİK), 2020). Bu miktarın alternatif yakıtlara büyük katkı sağlayacak potansiyele sahip olduğu rahatlıkla görülmektedir.

Tablo 3. CO₂ Dönüşüm Şeması



Model ilçenin mevcut biyokütle varlığı incelendiğinde ortaya çıkan bulgulara göre biyokütle potansiyelinin tamamı biyogaz üretim sürecinde kullanılabilirse üretilen toplam biyogaz miktarı 3.464.046 (m³/yıl) olarak hesaplanmıştır (**Tablo-2**). İlçenin biyokütle kaynaklı üretilen toplam biyogaz miktarı model ilçenin yaklaşık gaz tüketimiyle 1.429.280 (m³/yıl) kıyaslandığında, hesaplanan yaklaşık teorik değerler olarak üretim miktarı doğal gaz tüketim miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sebeple üretilen biyogazın bir kısmını içten yanmalı motorlarda, taşımada, elektrik üretiminde ve tarım amaçlı kullanılabilirliği görülmektedir (Abubaker et al., 2012; Cucchiella et al., 2019; Scholwin et al., 2018). Bu çalışmada, her ne kadar biyogaz potansiyeli araştırılmış olsa da ekonomik değer olarak örneğin Polonya’da yapılan bir çalışmada sadece süt üretilen çiftlikle süt üretiminin yanında biyogaz üretimi de yapılan (600 büyük baş hayvanlı 500kW) çiftlik kıyaslandığında bütün yatırım ve giderler dâhil €332,000/yıl kazançlı olacağı ve yatırım maliyetini 6 yıl içerisinde karşılayacağı görülmektedir (Pochwatka et al., 2020). Bunların dışında, elde edilen sonuçlara göre doğaya kontrolsüz olarak salınan ve sera gazı etkisini artıracak olan 3.464.046 (m³/yıl) metan gazı yakılıp karbondioksit çevrilerek geri dönüşüme kazandırılacaktır (Niskanen & Magnusson, 2021). Elde edilen verilere göre ülkemizde biyogaz üretimi için potansiyelin mevcut üretimden çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca biyogaz üretimi sonucu elde edilen organik biyogübrenin özellikleri incelendiğinde, sentetik inorganik gübrelere kaynaklanan ağır metal kirliliği ve vahşi sulama ile oluşan tuzluluğa bağlı verim düşmesi önlenerek tarımda verim doğal yöntemlerle artırılabilir (Abubaker et al., 2012; Boreka & Romaniuk, 2020) (Valentinuzzi et al., 2020). Bu çalışmayla alakalı bir diğer çalışmamızın ön sonuçlarına göre biyogübre kullanımıyla bitkilerin tuz stresine karşı direnç geliştirdiği gözlemlenmiştir. Model ilçede biyogaz süreci sonucu elde edilecek yaklaşık biyogübre 14.773.362 (ton/yıl) böylece tarım topraklarındaki üretim artırılarak hem ülke(ilçe) ekonomisine katkıda bulunur. Şehirlerde oluşan evsel organik atıkların biyogaz üretiminde kullanımıyla vahşi depolama(kötü koku ve görünüm, salgın hastalık, içme suyu bulaş riski, doğal yaşama etkileri vb.) engellenmiş olur. Böylece katı organik atıkların bertarafı için ekstra maliyet olmaz ve atıklardan enerji üretilmesiyle geri dönüştürülerek ülke ve şehir ekonomisine katkı sağlar.

4. Sonuç

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilere göre model ilçenin alternatif enerji üretimi için toplam hayvansal ve tarımsal biyokütle kaynakları belirlenmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçları da kullanılarak toplam üretililecek biyogaz potansiyeline bağlı olarak üretililecek elektrik enerjisi yaklaşık olarak 83.137 (GJ) belirlenmiştir. Elde edilen ön verilere göre, ilçenin evsel atıkları göz ardı edilmesine rağmen üretilen biyogazın model ilçenin biyogaz tüketiminden hayli yüksek olduğu görülmektedir. Bu bilgiler kapsamında yapılan hesaplamalarda; model ilçenin biyokütle varlığından biyogaz üretilmesi durumunda sadece biyogaz tüketimi için yaklaşık 6.000.000 (TL/yıl) kadar ekonomik katkı sağlanabileceği öngörülmektedir. Bunların dışında, biyogaz üretimi gerçekleştiikten sonra oluşan biyogübre kaynaklarının yaklaşık 14.773.362 (ton/yıl) olduğu ve bölgede kullanılan toplam inorganik kökenli sentetik gübrelere karşılık yeterli miktarda olabileceği görülmektedir. Biyogaz üretiminden elde edilecek organik gübrenin tarımda kullanılması ile vahşi sulamaya bağlı oluşan tuzluluk stresi azaltılacak ve sentetik gübre kullanımına bağlı ağır metal kirliliğinin önüne geçilebilecektir ve çiftçilerin gübre maliyeti düşürülmüş olacaktır. Sonuçta, biyokütle kaynakları kullanılarak; maliyetsiz atık bertarafı sağlanacak, enerji alanında ithalat azaltılarak ekonomik katkı sağlanabilecek ve oluşan biyogübre ile tarım topraklarının ve soluduğumuz havanın daha sağlıklı kalabilmesi sağlanacaktır.

Kaynakça

- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), T. (2020). Hayvansal Üretim İstatistikleri. *TÜİK*, 33874.
- Abdallah, M., Shanableh, A., Adghim, M., Ghenai, C., & Saad, S. (2018). Biogas Production from Different Types of Cow Manure. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*. doi:10.1109/ICASET.2018.8376791
- Abubaker, J., Risberg, K., & Pell, M. (2012). Biogas residues as fertilisers – Effects on wheat growth and soil microbial activities. *Applied energy*, 99. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.04.050>
- Agency, E. (2020). *Energy in Sweden 2020 An overview*. Retrieved from
- Agency(EPA), E. P. (2021). *Understanding Global Warming Potentials*. Retrieved from [https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials#:~:text=t=Methane%20\(CH4\)%20is%20estimated,uses%20a%20different%20value.](https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials#:~:text=t=Methane%20(CH4)%20is%20estimated,uses%20a%20different%20value.)
- Alfa, I. M., Dahunsi, S. O., Iorhemen, O. T., Okafor, C. C., & Ajayi, S. A. (2014). Comparative evaluation of biogas production from Poultry droppings, Cow dung and Lemon grass. *Bioresource Technology* 157. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.108>
- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., & Gruber, L. (2007). Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118. doi:doi:10.1016/j.agee.2006.05.007
- Association, S. G. (2021). Basic Data on Biogas. *Swedish Gas Technology Centre: Basic Data on Biogas*.
- Balussou, D. (2018). *An analysis of current and future electricity production from biogas in Germany*. Karlsruhe Institut für Technologie (KIT).

- Bassey, A., James, E., Bassey, A., E., A., & E., E. M. (2013). Four potentials of biogas yield from cow dung-CD. *European Journal of Experimental Biology*, 3(3).
- Battista, F., Fino, D., & Mancini, G. (2016). Optimization of biogas production from coffee production waste. *Bioresource Technology* 200, 884–890. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.020>
- Benato, A., & Macor, A. (2019). Italian Biogas Plants: Trend, Subsidies, Cost, Biogas Composition and Engine Emissions. *mdpi energy*, 12, 979. doi:doi:10.3390/en12060979
- Bernard, S. S., Srinivasan, T., Suresh, G., Paul, A. I., Fowzan, K. M., & Kishore, V. A. (2020). Production of biogas from anaerobic digestion of vegetable waste and cow dung. *Materials Today: Proceedings*, 33. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.129>
- Boreka, K., & Romaniuk, W. (2020). Biogas Installation for Harvesting Energy and Utilization of Natural Fertilisers. *sciencedirect Agricultural Engineering*, 24(1), 1-14. doi:DOI:10.1515/agriceng-2020-0001
- Cestonaro, T., Costa, M. S. S. d. M., Costa, L. A. d. M., Rozatti, M. A. T., Pereira, D. C., Lorin, H. E. F., & Carneiro, L. J. (2015). The anaerobic co-digestion of sheep bedding and P50% cattle manure increases biogas production and improves biofertilizer quality. *waste management*, 46, 612-618. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.040>
- Chuanchai, A., & Ramaraj, R. (2018). Sustainability assessment of biogas production from buffalo grass and dung: biogas purification and bio-fertilizer. *Springer Biotech*, 8(151), 2-11. doi:<https://doi.org/10.1007/s13205-018-1170-x>
- Chukeaw, T., Tiyathaa, W., Jaroenpanona, K., Witoon, T., Kongkachuichay, P., Chareonpanich, M., Seubsai, A. (2021). Synthesis of value-added hydrocarbons via oxidative coupling of methane over MnTiO₃-Na₂WO₄/SBA-15 catalysts. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 1110–1122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.02.030>
- Comino, E., Rosso, M., & Riggio, V. (2009). Development of a pilot scale anaerobic digester for biogas production from cow manure and whey mix. *Bioresource Technology*, 100, 5072–5078. doi:doi:10.1016/j.biortech.2009.05.059
- Cucchiella, F., Dadao, I., & Gastaldi, M. (2019). An economic analysis of biogas-biomethane chain from animal residues in Italy. *Journal of Cleaner Production* 230, 888-897. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.116>
- Eyl-Mazzega, M.-A., & Mathieu, C. (2019). *Biogas and Biomethane in Europe: Lessons from Denmark, Germany and Italy*. Retrieved from https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/mathieu_eyl-mazzega_biomethane_2019.pdf
- Feiz, R., Johansson, M., Lindkvist, E., Moestedt, J., Pålodal, S. N., & Svensson, N. (2020). Key performance indicators for biogas production: methodological insights on the life-cycle analysis of biogas production from source-separated food waste. *Energy*, 200, 117462. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117462>
- Ferreira, S. F., Buller, L. S., Berni, M., & Forster-Carneiro, T. (2019). Environmental impact assessment of end-uses of biomethane. *Journal of Cleaner Production* 230, 613e621. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.034>
- Gu, L., Zhang, Y.-X., Wang, J.-Z., Chen, G., & Battye, H. (2016). Where is the future of China's biogas? Review, forecast, and policy implications. *Pet. Sci. Springer*, 13, 604–624. doi:DOI 10.1007/s12182-016-0105-6
- Hasan, M. A., Putra, Z. A., Bilad, M. R., Sapiaa, N. A. H., Wirzal, M. D. H., & Tijani, M. M. (2018). Biogas production from chicken food waste and cow manure via multi-stages anaerobic digestion. *Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Science and Technology (ICAST'18)*. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5055413>
- Havrysh, V., Kalinichenko, A., Mentel, G., & Olejarz, T. (2020). Commercial Biogas Plants: Lessons for Ukraine. *mdpi energies*, 13, 2668. doi:doi:10.3390/en13102668
- Hidayati, S., Utomo, T. P., Suroso, E., & Maktub, Z. A. (2019). Technical and technology aspect assessment of biogas agroindustry from cow manure: case study on cattle livestock industry in South Lampung District. *International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy*, 230(1). doi:doi:10.1088/1755-1315/230/1/012072
- Huang, Q., Yu, Y., Wan, Y., Wang, Q., Luo, Z., Qiao, Y., Li, H. (2018). Effects of continuous fertilization on bioavailability and fractionation of cadmium in soil and its uptake by rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Environmental Management* (215), 13-21. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.036>
- India, B. P. i. (2021). Biogas: A Fit Option For Rural Energy. Retrieved from <https://web.iitd.ac.in/~vkvijay/files/Biogas%20technology.pdf>
- Kalinichenko, A., & Havrysh, V. (2019). Feasibility study of biogas project development: technology maturity, feedstock, and utilization pathway. *Polish Academy of Sciences*, 45(1), 68. doi:DOI 10.24425/aep.2019.126423
- Khalil, M. A. K. (2003). Atmospheric Methane Its Role in the Global Environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126, 125–126. doi:doi:10.1016/j.agrformet.2003.09.004
- Kushkevych, I., Vítězová, M., Vítěz, T., & Bartoš, M. (2017). Production of biogas: relationship between methanogenic and sulfate-reducing microorganisms. *De Gruyter*, 12, 82–91. doi:DOI 10.1515/biol-2017-0009
- Lanari, D., & Franci, C. (1998). Biogas production from solid wastes removed from fih farm effluents. *Aquatic Living Resources*, 11(4), 289-295. doi:[https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)80014-4](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)80014-4)
- Li, L., Xu, J., Wang, H., Liu, X., & Zhang, D. (2020). Study of the performance of biogas production by mixed fermentation of cow dung, deer manure, and mushroom fungus. *Energy Sci Engineering*, 8. doi:DOI: 10.1002/ese3.528
- Lindsey, R. (2021). *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. Retrieved from
- Lukehurst, C. T., Frost, P., & Seadi, T. A. (2010). Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. *IEA*.
- Ma, Y., Yin, Y., & Liu, Y. (2017). New insights into co-digestion of activated sludge and food waste: Biogas versus biofertilizer. *Bioresource Technology* 241, 448–453. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.154>
- Malik, W., Mohan, C., & Annachhatre, A. P. (2020). Community based biogas plant utilizing food waste and cow dung. *Materials Today: Proceedings* 28, 1910-1915. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.312>
- Meyer, A. K. P., Ehimen, E. A., & Holm-Nielsen, J. B. (2018). Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy* 111, 154-164. doi:doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.05.013
- Montingelli, M. E., Tedesco, S., & Olabi, A. G. (2015). Biogas production from algal biomass: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 961–972. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.052>
- Murray, B. C., Galik, C. S., & Vegh, T. (2014). *An Assessment of Market Potential in a Carbon-Constrained Future*. Retrieved from
- Niskanen, J., & Magnusson, D. (2021). Understanding upscaling and stagnation of farm-based biogas production in Sweden through transitional and farming logics. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123235. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123235>
- Panuccio, M. R., Attina, E., Basile, C., Mallamaci, C., & Muscolo, A. (2016). Use of Recalcitrant Agriculture Wastes to Produce

- Biogas and Feasible Biofertilizer. *Waste Biomass Valor*, 7, 267. doi:DOI 10.1007/s12649-015-9445-5
- Patel, R. P., Nagababu, G., Kumar, S. V. V. A., M., S., & Kachhwah, S. S. (2020). Wave resource assessment and wave energy exploitation along the Indian coast. *Ocean Engineering* 217, 107834. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107834>
- Pavi, S., Kramer, L. E., Gomes, L. P., & Miranda, L. A. S. (2017). Biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and fruit and vegetable waste. *Bioresource Technology*, 228, 362-367. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.003>
- Pochwatka, P., Kowalczyk-Ju'sko, A., Sołowiej, P., Wawrzyniak, A., & Dach, J. (2020). Biogas Plant Exploitation in a Middle-Sized Dairy Farm in Poland: Energetic and Economic Aspects. *Energies*, 13, 6058. doi:doi:10.3390/en13226058
- Quintanar-Orozco, E. T., Vázquez-Rodríguez, G. A., Beltrán-Hernández, R. I., Lucho-Constantino, C. A., Coronel-Olivares, C., Montiel, S. G., & Islas-Valdez, S. (2018). Enhancement of the biogas and biofertilizer production from *Opuntia heliabravoana* Scheinvar. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 28403–28412. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-018-2845-x>
- Quiroz, M., Varnero, M. T., Cuevas, J. G., & Sierra, H. (2021). Cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in areas with limited rainfall for the production of biogas and biofertilizer. *Journal of Cleaner Production* 289, 125839. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125839>
- Raja, I. A., & Wazir, S. (2017). Biogas Production: The Fundamental Processes. *Universal Journal of Engineering Science*, 5(2), 29-37. doi:DOI: 10.13189/ujes.2017.050202
- Ren, S., Dou, B., & Ning, F. (2020). Geothermal energy exploitation from depleted high-temperature gas reservoirs by recycling CO₂: the superiority and existing problems. *Geoscience Frontiers, pre proof*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.014>
- Rudreshwar, K., & Balakrishnan, B. J. (2020). Mini review on recent progress toward sustainable production of biodiesel from biomass. *Materials Today: Proceedings* doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.444>
- Sarıbiyik, O. Y., Özcanlı, M., Serin, H., Serin, S., & Aydın, K. (2010). Biodiesel Production from Ricinus Communis Oil and Its Blends with Soybean Biodiesel. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 56(12), 811-816.
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy* 129, 457-472. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Scholwin, F., Grope, J., Clinkscates, A., Boshell, F., Saygin, D., Salgado, A., & Seleem, A. (2018). *Biogas for Road Vehicles Technology Brief*. Retrieved from
- Selvankumar, T., Sudhakar, C., Selvam, K., Aroulmoji, V., Govindaraju, M., Sivakumar, N., & Govarthanan, M. (2017). Process optimization of biogas energy production from cow dung with alkali pre-treated coffee pulp. *Biotech*, 7(254). doi:DOI 10.1007/s13205-017-0884-5
- Sharma, S., Kundu, A., Basu, S., Shetti, N. P., & Aminabhavi, T. M. (2020). Sustainable environmental management and related biofuel technologies. *Journal of Environmental Management* 273, 111096. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111096>
- Siddique, M. N. I., Khalid, Z. B., & Ibrahim, M. Z. B. (2020). Effect of additional nutrients on bio-methane production from anaerobic digestion of farming waste: Feasibility & Fertilizer recovery. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8, 103569. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103569>
- Sif, B. S., Kofoed-Wiuff, Herrmann, A., Tengbjerg, I., & Bernard, K. K. (2014). *Experiences with biogas in Denmark*. Retrieved from
- Spence, A., Madrigal, E. B., Patilb, R., & Fernández, Y. B. (2019). Evaluation of anaerobic digestibility of energy crops and agricultural byproducts. *Bioresource Technology Reports*, 243–250. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.11.004>
- Stolarski, M. J., Warminski, K., Krzyzaniak, M., Ziety, E. O., & Stachowicz, P. (2020). Energy consumption and heating costs for a detached house over a 12-year period e Renewable fuels versus fossil fuels. *Energy*, 204, 117952. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117952>
- Thompson, T. M., Young, B. R., & Baroutian, S. (2021). Enhancing biogas production from caribbean pelagic Sargassum utilising hydrothermal pretreatment and anaerobic co-digestion with food waste. *Chemosphere*, 275, 130035. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130035>
- Tsigkou, K., Zagklis, D., Tsafraikidou, P., Zapanti, P., Manthos, G., Karamitou, K., Kornaros, M. (2021). Expired food products and used disposable adult nappies mesophilic anaerobic co-digestion: Biochemical methane potential, feedstock pretreatment and two-stage system performance. *Renewable Energy*, 168, 309-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.062>
- Valentinuzzi, F., Cavani, L., Porfido, C., Terzano, R., Pii, Y., Cesco, S., Mimmo, T. (2020). The fertilising potential of manure-based biogas fermentation residues: pelleted vs. liquid digestate. *Heliyon*, 6, e03325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03325>
- Winquist, E., Rikkonen, P., Pyysiäinen, J., & Varho, V. (2019). Is biogas an energy or a sustainability product? - Business opportunities in the Finnish biogas branch. *Journal of Cleaner Production* 233, 1344-1354. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.181>
- Xue, S., Wang, Y., Lyuc, X., Zhao, N., Song, J., Wang, X., & Yang, G. (2020). Interactive effects of carbohydrate, lipid, protein composition and carbon/ nitrogen ratio on biogas production of different food wastes. *Bioresource Technology*, 312, 123566. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123566>
- Yin, C., Shen, Y., Yu, Y., Yuan, H., Lou, Z., & Zhu, N. (2019). In-situ biogas upgrading by a stepwise addition of ash additives: Methanogen adaption and CO₂ sequestration. *Bioresource Technology*, 282, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.110>
- Yohaness, M. T. (2010). *Biogas potential from cow manure – Influence of diet*. (Master), Swedish University, (ISSN 1101-8151)
- Zhang, Q. L. Y., Miegheem, A. V., Chen, Y.-C., Yu, N., Yang, Y., & Yin, H. (2020). Design and experiment of a sun-powered smart building envelope with automatic control. *Energy & Buildings*, 223, 110173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110173>
- Zhang, Z., Zhang, G., Li, W., Li, C., & Xu, G. (2016). Enhanced biogas production from sorghum stem by co-digestion with cow manure. *international journal of hydrogen energy*, 41. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.02.042>
- Zhou, B., Or, S. W., Chan, K. W., Duan, H., Wu, Q., Wang, H., & Meng, Y. (2021). Short-term prediction of wind power and its ramp events based on semisupervised generative adversarial network. *Electrical Power and Energy Systems* 125, 106411. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106411>



Evsel Kojenerasyon Sistemleri

Gamze Karanfil^{1*}, Batuhan Göçen², Ferdi İnanç³, Halil Can Karayel⁴, Ümit Ünver⁵

^{1*} Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-7941-9853), gamzekaranfil86@gmail.com

² Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-8141-3330), batuhan1601998@hotmail.com

³ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye
(ORCID:0000-0002-3369-0031), ferdi.inanc.96@gmail.com

⁴ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-9835-5042), hilcnkryl@hotmail.com

⁵ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-6968-6181), umit.unver@yalova.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 01 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.889188)

ATIF/REFERENCE: Karanfil, G., Göçen, B., İnanç, F., Karayel, H.C. & Ünver, Ü. (2021). Evsel Kojenerasyon Sistemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 198-206.

Öz

Enerji, günümüz toplumunun ve ekonomisinin can damarıdır. Ekonomik, sosyal ve fiziksel refahımızın tümü, yeterli ve kesintisiz enerji üretimine bağlıdır. Enerji üretimi için kullanılan kojenerasyon sistemleri, elektrik ve ısı enerjisinin tek bir yakıt kaynağından kombine bir şekilde üretilmesi olarak tanımlanabilir. Konvansiyonel sistemlerde sadece elektrik üretimi %30-35 verim ile gerçekleştirilebilirken, atık ısının ısınma ve sıcak su ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılmasıyla kojenerasyon sistemlerinin verimi %80'in üzerine çıkabilmektedir. Bu avantajlardan dolayı, gelişmiş ülkelerde, mikro kojenerasyon sistemleriyle binalarda enerji üretimi teşvik edilmektedir. Böylece bina sektörünü enerji tüketen değil enerji üreten duruma getirerek, arz güvenliğini de garanti altına alan politikalar benimsenmektedir. Bu çalışmada, evsel kojenerasyon sistemlerinin tanımı, çeşitleri ve farklı tür uygulamalar için seçim kriterlerini içeren detaylı bir literatür araştırması sunulmuştur. Yapılan araştırmalar neticesinde, uygun evsel kojenerasyon sisteminin seçiminde teknik (uygulama kapasitesi, ısı-güç oranı vb.), ekonomik (yatırım maliyeti, işletme maliyeti, geri ödeme süresi vb.) ve çevresel (karbonsuzlaştırma vb.) parametrelerin bir arada değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dağınık güç sistemleri, Kojenerasyon, Mikro kojenerasyon, Yakıt Hücreleri, Sıfır Enerjili Binalar

Domestic Cogeneration Systems

Abstract

Energy is of great importance for today's society and economy. Our economic, social and physical well-being all depend on adequate and uninterrupted energy production. Cogeneration systems used for energy production can be defined as the combined production of electricity and heat energy from a single fuel source. While conventional systems can only produce electricity with 30-35% efficiency, the efficiency of cogeneration systems can exceed 80% by using waste heat to meet thermal demands. Because of these advantages, in developed countries, energy production in buildings with micro cogeneration systems has incentives. Policies are adopted to ensure the security of supply by making the building sector not consuming energy but being energy producers. In this study, a comprehensive literature review including the definition, types and selection criteria for different types of applications of domestic cogeneration systems is presented. As a result of the researches, it was concluded that technical (application capacity, heat-power ratio etc.), economic (investment cost, operating cost, payback period etc.) and environmental (decarbonisation etc.) parameters should be considered together in the selection of the appropriate domestic cogeneration system.

Keywords: Distributed power plants, Cogeneration, Micro-cogeneration, Fuel cells, Zero Energy Buildings

* Sorumlu Yazar: gamzekaranfil86@gmail.com

1. Giriş

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Kullanılan enerji kaynaklarının zamanla yetersiz kalması ve geleneksel kaynakların çevreye verdiği zararlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, daha yüksek verime sahip enerji dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesi ve özellikle elde edilen enerjinin verimli kullanılmasının önemi daha büyük hale gelmiştir (Karanfil vd., 2020). Ülkemizde de, son yıllarda artan nüfus ve sanayi faaliyetleri ile birlikte yükselen enerji talebimiz ve mevcut enerji kaynaklarımızın sınırlı oluşu ülkemizde enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına ilişkin çalışmaları zorunlu hale getirmiştir (Demir vd., 2020). Enerji kaynaklarının doğru ve verimli kullanılması ülke ekonomisi üzerindeki enerjiden kaynaklanan maliyetlerin düşürülmesinin yanı sıra sera gazlarının neden olduğu iklim değişikliklerinin azaltılmasına ve enerji arz güvenirliliğinin artırılmasına katkıda bulunur. Konut, hastane, alışveriş merkezi ve eğitim veren binalarda tüketilen enerji dünyada olduğu gibi ülkemizde de toplam enerji tüketimindeki payı oldukça yüksektir (Ener Ruşen vd., 2018).

Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik (PV) sistemler, mikro türbinler ve yakıt hücreleri gibi küçük ölçekli güç üretim sistemleri; dağıtık güç üretimi (DGÜ) kavramından yararlanılarak tüketici taleplerinin karşılanması için önemli rol oynarlar. Dağıtık güç üretimi terimi, merkezi veya uzak yerleşimlerden çok, tüketicilerin yakınına kurulmuş olan küçük ölçekli güç üretim anlamına gelir. Enerji iletimi, dağıtımı ve dönüşümü işlemlerinde önemli miktarda enerji kaybı gerçekleşir. Dağıtık güç sistemlerinin, uzun mesafelere iletim ve dağıtım sırasında gerçekleşen kayıpları azaltması, tasarım giderlerinin azalması ve bölgesel voltaj (gerilim) düzenlenmesi gereken ve aşırı yük oluşan koşullarda büyük bir ünite yerine, küçük bir ünite eklenmesine olanak vermesi gibi yararları bulunmaktadır (Kaya vd., 2017). Dağıtık güç sistemlerinin dünyadaki uygulamalarından biri de mikro kojenerasyon sistemleridir. Kojenerasyon, kısaca ısı ve elektrik enerjisi ihtiyaçlarının bir arada tek bir sistem üzerinden karşılandığı enerji dönüşüm sistemi olarak açıklanabilir ve mikro kojenerasyon ise elektrik enerjisine dayalı kurulu gücü 50 kW ve altı olan sistemler için kullanılan bir terim olmaktadır (Ciampi vd., 2016; Pravadaloğlu, 2012). Mikro kojenerasyon sistemlerinde hem ısı hem de elektrik enerjisi dönüşümleri yüksek verimlilikte (%65-95) gerçekleştirilebilmektedir (Onovwiona ve Ugursal, 2006). Ayrıca bu verimli enerji dönüşüm sistemleri, artık kurumlara bağlı kalmaksızın ve elektrik kesintileriyle uğraşmaksızın, enerji güvenliğinde son derece başarılı olan ve ekonomik bir uygulama olan kojenerasyonun hane bazında kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte çevre için de şebekeden kullanılan enerji ile kıyaslandığında çok daha ekonomik, verimli ve temiz bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (IEA, 2009). Bu yönüyle yeşil bina sertifika sistemlerinde ve sıfır enerjili bina yaklaşımlarında tercih sebebi olmaktadır (Erbyık vd., 2021).

2. Kojenerasyon

2.1. Kojenerasyonun Tanımı ve Kapsamı

Kojenerasyon terimi, elektrik enerjisi üretimi ve oluşan ısı enerjinin yararlı amaçlar için aynı sistem tarafından üretilmesi anlamına gelir. Kojenerasyon sistemleri, aynı anda bir veya iki tür birincil güç üreten ana taşıyıcı olarak adlandırılan ve Şekil

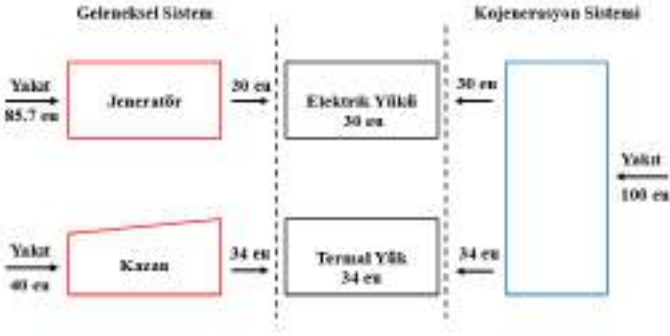
1'de gösterildiği gibi ana taşıyıcıdan birincil enerjiyi geri kazanmak için yardımcı bileşenlerden oluşan tek veya hibrit bir enerji kaynağından meydana gelmektedir. Ayrıca birkaç uygulamada kojenerasyon sistemleri sıcak su tankı veya batarya gibi depolama cihazları ile donatılmıştır. Depolar, sistem tarafından üretilen fazla enerjileri depolamak için kullanılmaktadır. Bu konfigürasyonu kullanarak, kojenerasyon, tek güç üretim sistemine kıyasla %80'e varan bir verimliliğe ulaşabilmektedir (Ramadhani vd., 2019). Kojenerasyon sistemleri endüstriyel işletmelerde 100kW'tan 100MW'a kadar rahatlıkla uygulanabilmektedir (Goswami ve Kreith, 2016).



Şekil 1. Kojenerasyon sistem çıktıları

Victoria dönemi (1837-1901) mühendisleri, enerji üretiminden kaynaklanan atık ısının fabrikada kışın ısıtma sağlamak için ve bazı durumlarda üretim süreçlerini kolaylaştırmak için kullanılabileceğini fark etmişlerdir. Yirminci yüzyılın başında, mekanik güç yerini aşamalı olarak elektrik gücüne bırakmış fakat atık ısı fabrikalarda kullanılmaya devam etmiştir. Bu, bugün bildiğimiz şekliyle kombine ısı ve güç (combined heat and power, CHP) üretiminin ilk formu olmuştur. Fabrikalarda kullanılan CHP sistemlerinden gelen fazla gücün civardaki konutlara ve işletmelerde kullanılmaya başlanması ise evsel kojenerasyon sistemlerinin başlangıcı olmuştur (Belth, 2011). 1973'te başlayan enerji farkındalığının bir sonucu olarak dünyanın dört bir yanındaki endüstriyel tesisler kojenerasyon konseptine artan bir ilgi göstermiştir (Boyce, 2010).

Elektrik enerjisi ihtiyacı genellikle yerel elektrik şebekesinden elektrik satın alarak, ısı enerjisi ise sahada bulunan kazan veya fırın yoluyla karşılanmaktadır. Ancak, bir elektrik santralinde elektrik üretimine ısı üretimi de eşlik eder. Üretilen bu ısı enerjisinin santralin egzoz gazları ve soğutma devreleri yoluyla çevreye atılması durumu, büyük bir enerji israfına neden olur. Atık olarak tabir edilen bu ısı enerjisinin çoğu geri kazanılabilir ve ısı yükleri karşılamak için kullanılabilir durumda olmaktadır. Santralin kojenerasyon sistemine dönüştürülmesiyle enerji dönüşüm verimi %40-50'lerden %80-90'lara kadar yükseltilebilmektedir (Frangopoulos, 2017). Geleneksel sistemler ile kojenerasyon sistemlerinin karşılaştırmalı gösterimi Şekil 2'de verilmiştir (Goswami ve Kreith, 2016).



Şekil 2. Geleneksel sistemler ile kojenerasyon sistemlerinin karşılaştırılması

2.2. Kojenerasyonun Amacı ve Faydaları

Geleneksel fosil yakıtlı enerji santralleri %35-40 verimlilik ile çalışır. Bu durum yakıtın enerjisinin büyük bir kısmının faydalı enerjiye dönüştürülemediği anlamına gelir. Buna karşılık, kojenerasyon sistemleri %70 ile %90 arasında tipik işletme verimliliğine sahiptir. Kojenerasyon santralleri, geleneksel sistemlerde atık olan ısıyı kullanarak aynı emisyon seviyesi için daha fazla çıktı üretir. Ek olarak, kojenerasyon tesisleri genellikle daha küçüktür ve iletim kayıplarını en aza indirmek için enerjiyi kullanacak olan konuma yakın kurulmaktadır. (Flin, 2009).

Birleşik Krallık'ın CO₂ emisyonlarının yaklaşık %35'i elektrik üretiminden kaynaklanmaktadır. ABD'de elektrik üretimi, tüm CO₂ emisyonlarının %24'ünü oluşturmaktadır. Commonwealth Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Örgütü'ne (CSIRO) göre, kömürle çalışan merkezi elektrik üretim tesislerinden üretilen her 1 kWh elektrik, 1 kg CO₂ emisyonuna neden olmaktadır. Elektrik üretmek için kullanılan farklı yakıt türleri, farklı seviyelerde CO₂ emisyonlarına neden olur. Birçok ülke CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltmak için hedefler belirlemiştir. Minimum emisyonla elektrik üreten yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, yüksek CO₂ yayan yakıtlardan daha düşük emisyon değerlerine sahip yakıtlara geçilmesi (örneğin kömürün gazla değiştirilmesi), CO₂ toplama ve yakalama sistemlerinin geliştirilmesi, üretim verimliliğini arttıran ve dolayısıyla daha az emisyon üreten kojenerasyon sistemlerinin kullanılması, mevcut CO₂ emisyonlarını düşürmek için başvurulabilecek yöntemlerden birkaç tanesidir. Bu yöntemler arasında kojenerasyon, hem enerji dönüşüm verimliliğini arttırmak hem de CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik ihtiyaçları karşılamak için kullanılacak mevcut ve kanıtlanmış bir teknolojidir (Flin, 2009).

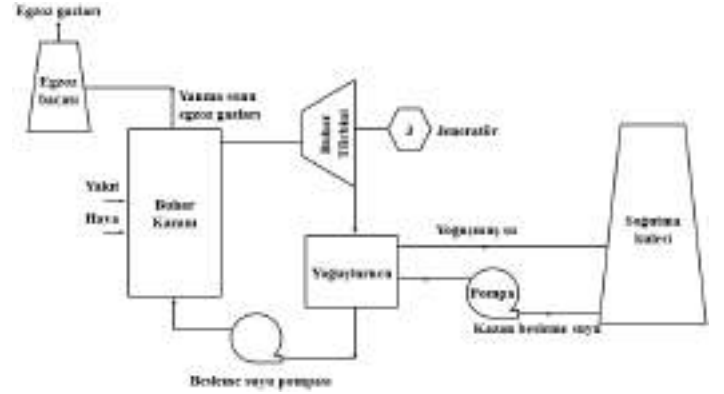
ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) CHP Ortaklığı, 2007 yılına kadar 335 kojenerasyon tesisinin kurulmasını desteklemesinin 2 milyon arabanın neden olduğu emisyon miktarını yok etmeye veya 2,4 milyon dönümlük bir orman elde etmeye eşdeğer olacak miktarda CO₂ emisyonunu azalttığı belirlenmiştir (US EPA, 2008). ABD'de kojenerasyon kullanımı sonucunda, 2030 yılına kadar binalar için CO₂ emisyonunun yaklaşık %13 (70 megaton) ve endüstri sektörü için %53 (80 megaton) azalacağı öngörülmektedir. Karbon emisyonu azaltma konusunda sadece kojenerasyon sistemlerini dahi kullanmanın bina yalıtımı, yoğunlaşmalı kazanlar ve rüzgâr gücünü kullanmaktan daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kojenerasyon sistemlerinin kullanımı ayrıca NO_x ve SO_x gibi

bazı atmosferik kirleticilerin emisyonlarının da azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu katkı özellikle kentsel alanlarda önemli olan hava kalitesinin iyileştirilmesine destek olmaktadır. Örneğin Houston Gelişmiş Araştırma Merkezi tarafından yapılan bir araştırmada Houston-Galveston-Brazoria bölgesine 2600 MW CHP eklenmesinin, NO_x emisyonlarını yılda 4700 ile 5440 ton azaltacağını tahmin etmektedir (Tanaka, 2009).

2.3. Kojenerasyonun Çeşitleri

2.3.1. Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemleri

Buhar türbinli kojenerasyon sistemleri termik santrallerde çok uzun yıllardır kullanılmaktadır. Buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinde iş akışkanı su buharıdır. Su buharı, yaklaşık 550-570°C sıcaklıklarda buhar kazanından elde edilir (Çengel ve Boles 2013). Buhar kazanında buhar elde etmek için kömür, dizel ya da doğalgaz gibi çeşitli fosil yakıtlar kullanılır. Sistemin basitleştirilmiş şeması Şekil 3'te verildiği gibidir (Moran vd., 2014).

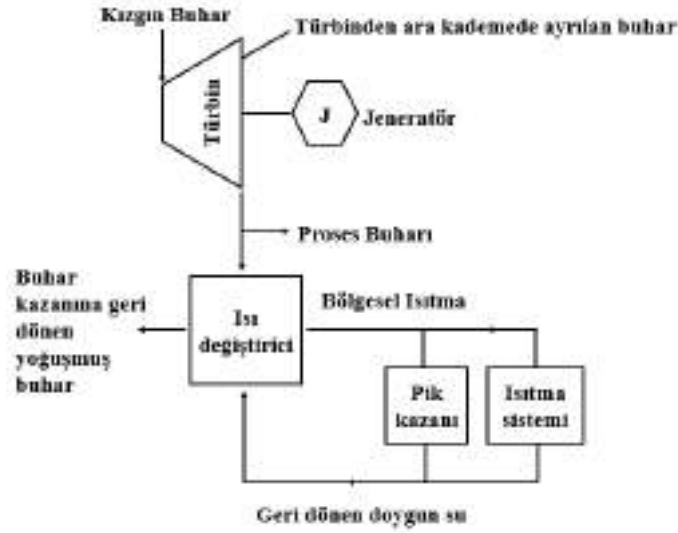


Şekil 3. Buhar çevrimli termik santralinin şematik gösterimi

Şekil 3'te verilen termik santral bileşenlerinden de anlaşılacağı gibi, elektrik enerjisi üretecek olan jeneratörün mekanik hareketi için yüksek basınçlı kızgın buhar, türbine gönderilir ve türbin hareketlendirilir. Türbin miline bağlı olan elektrik jeneratöründen elektrik enerjisi elde edilir. Türbin çıkışındaki buhar yoğuşturucuya gönderilir. Yoğuşan buhar, sıvı fazda tekrar kazana buhar üretimi için gönderilir ve böylece çevrim tamamlanmış olur (Moran vd., 2014). Yalnız buhar çevrimine göre çalışan termik santrallerde yakıttan bu şekilde faydalanılır. Eysel kojenerasyonun proses yönünden tek farkı, çevrimdeki buharın bir evi veya konutu ısıtmak için kullanılması ve bu şekilde bir yoğuşma sağlayarak tekrar termodinamik çevrimin sürekliliğinin sağlanmasıdır. Örnek bir mikrokojenerasyon sistemi Şekil 4'te şematik olarak gösterilmiştir (Khartchenko ve Khartchenko, 2014).

Buhar türbinli mikro kojenerasyon uygulamasında gerçekleştirilen ısıtma işlemi için, buhar türbininden çıkan buhar (5-10 MPa, 120-150°C) ısıtılacak bölgedeki ısı değiştiricilerine gönderilir (Wang, 2001; Whitman vd., 2013). Isı değiştiricilerinden elde edilen sıcak su radyatör ya da klima sisteminde mahalli ısıtmak için kullanılır (Ünver ve Kılıç, 2005). Elektrik enerjisi ise kontrol paneli, doğrultucular, dönüştürücüler, transformatörler ve dağıtım sistemleri gibi bileşenler yardımıyla hanelere şebeke elektriği standartlarında ulaştırılır (Fuchs ve Masoum, 2011). Buhar türbinli mikro kojenerasyon sistemleri toplu konut uygulamalarında

kullanılabilir (McLean-Conner, 2009). Çünkü mikro türbin olarak sınıflandırılan buhar türbinlerinin en küçük boyutları 100-500 kW arasında güce sahiptir. Bu nedenle toplu konut, bölgesel ısıtma gibi nispeten büyük ölçekli uygulamalarda buhar türbinli sistemler tercih edilir. Bu sistemler müstakil ya da apartman tarzı binalara uygulanmak için fazla büyüktürler ve tercih edilmezler (Forsthoffer, 2011). Isıl enerji ihtiyacının yüksek ve elektrik enerji ihtiyacının düşük olduğu kojenerasyon uygulamaları için buhar türbinli mikro kojenerasyon sistemleri ekonomik bir yöntem gibi görünebilir. Bu sistemlerin genel verimlilikleri %65-%75 dolaylarındadır (Ünver ve Kılıç, 2007).



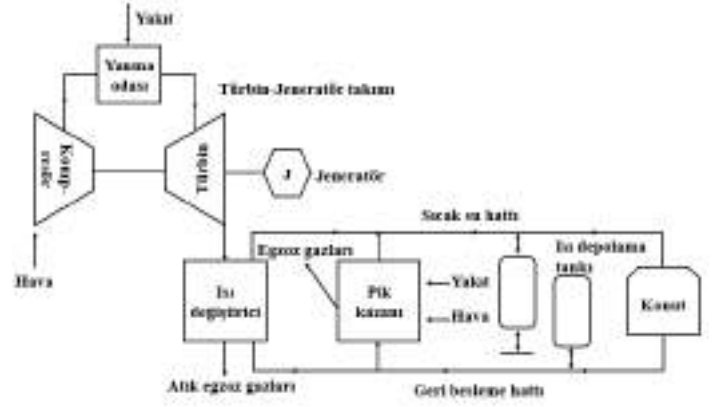
Şekil 4. Buhar türbinli kojenerasyon sistemi ile bölgesel ısıtma

2.3.2. Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemleri

Gaz türbinleri, Brayton termodinamik çevrimi kullanan içten yanmalı motorlardır. Türbinde elde edilen mekanik enerji, jeneratör bağlantısıyla elektrik enerjisine dönüştürülür (Horlock, 2003). Gaz türbinli, buhar türbininden çok daha yüksek sıcaklıklarda, farklı tür bir termodinamik çevrimle, farklı bir mekanizma ile çalışmaktadır (Forsthoffer, 2011). Bu tür sistemlerde, gaz türbinli egzozundan çıkan ısıl enerji ile buhar kazanında kızgın buhar elde edilir. Kazandan gelen buhar, ayrı bir çevrimde buhar türbininde kullanılır. Buhar türbinli de başka bir jeneratöre bağlıdır ve oradan da elektrik üretimi gerçekleştirilir (Ünver ve Kılıç, 2017). Eğer uygun şekilde projelendirilirse, buhar türbinli çıkışında elde edilen doymuş buhar başka bir kimyasal proseste de kullanılabilir (Kolanowski, 2011; Ünver vd., 2018). Büyük çaplı konut uygulamalarında kullanılan termik santrale benzer gaz türbinli kojenerasyon sisteminin şematik gösterimi Şekil 5'te verildiği gibidir (Khartchenko, 2014).

Gaz türbinleri, evsel kojenerasyon uygulaması için daha uygun çözümler sunar. Mikro kojenerasyon uygulamaları için 50 kW'a kadar enerji üreten mikro gaz türbinleri kullanılmaktadır. Bu durum daha küçük ölçekli uygulama imkânı sunmaktadır (Boyce, 2010). Mikro gaz türbinli kojenerasyon sistemleri büyük ölçekli sistemler gibi karmaşık olmamaktadır (Ünver vd., 2018). Genel olarak bu kojenerasyon sistemlerinde gaz türbininden ayrılan sıcak egzoz gazlarının enerjisi bir ısı değiştiricisi ile mahalli ısıtma işlemi için suya aktarılır (Thulukkanam, 2013). Elektrik enerjisi ise gaz türbin miline bağlı jeneratör tarafından üretilir. Bu sistemler genel olarak paket halinde kurulumlar ve tek

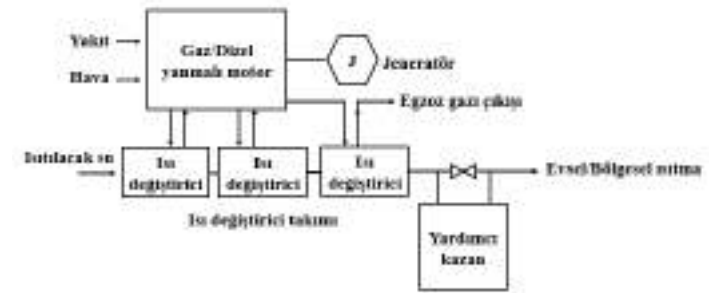
başına Rankine veya Bryton çevrimlerinden daha verimlidirler. Sistemin elektrik üretim verimi %35 civarlarındadır ve toplam verimi %85'lere kadar çıkmaktadır (Abuşoğlu vd., 2013).



Şekil 5. Gaz türbinli kojenerasyon uygulamasının şematik gösterimi

2.3.3. İçten Yanmalı Motorlu Kojenerasyon Sistemleri

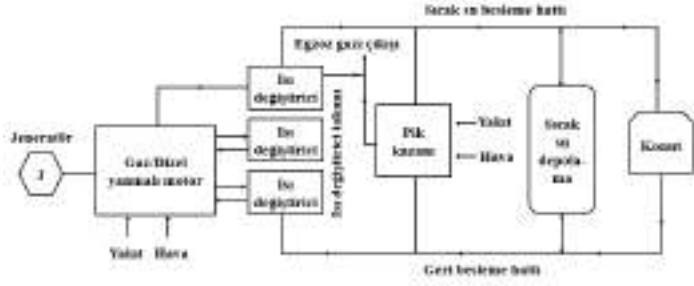
İçten yanmalı motorlu kojenerasyon sistemleri; benzin, dizel, LPG yakıtları ile çalışan motorları içeren sistemlerdir (Pulkrabek, 1997). Isıl enerjiyi elde etme yöntemi egzoz gazlarının atık ısılarından ısı değiştiricileri kullanarak sıcak su elde etme şeklindedir. Bu sistemlerde elektrik enerjisi ise motor krank miline bağlı jeneratörle elde edilmektedir (Yavuzdeğer ve Ekinci, 2019). Kojenerasyon motorlarında her pistonun egzozu direkt bir ısı değiştiricisine bağlıdır ve atık ısıdan anında faydalanılır. Bu sistemde tek bir ısı değiştirici yerine ısı değiştirici takımı kullanılmaktadır (Ferguson vd., 2009). Sistemin basit bir şematik gösterimi Şekil 6'da verilmiştir. Bunun yanı sıra, ısıl yükün artması durumunda sisteme yardımcı bir kazan da eklenebilmektedir (Khartchenko, 2014).



Şekil 6. İçten yanmalı motor ile kojenerasyon uygulaması

Evsel kojenerasyon uygulamalarında mikro kojenerasyon ünitesi paket olarak hazırlanmaktadır. Kontrol sistemi sayesinde, ihtiyaca göre sistem kendini çalıştırıp kapatabilmekte, bu sayede fazla yakıt harcanmasını engelleyebilmektedir. Bu sistemlerle 5kW kadar küçük veya birkaç MW'lık büyük uygulamalar yapmak mümkündür. Basitleştirilmiş proses şeması Şekil 7'de görülmektedir (Khartchenko, 2014).

İçten yanmalı motorlu kojenerasyon sistem verimi %70-%85 civarındadır. Elektrik ve ısı üretimi açısından daha dengelidir, eşit yükteki ihtiyaçlar için uygulamaları mevcuttur.

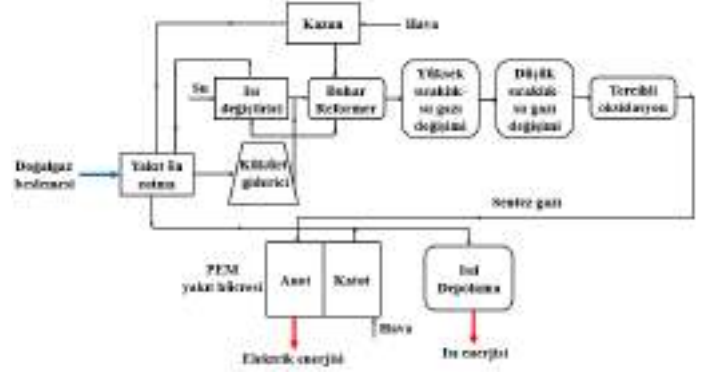


Şekil 7. Geniş kapsamlı içten yanmalı motorlu kojenerasyon uygulama prosesinin şematik gösterimi

2.3.3. Yakıt Hücreli Kojenerasyon Sistemleri

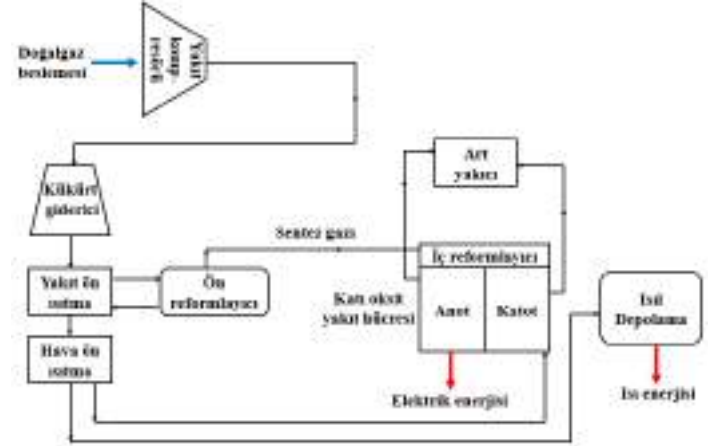
Şu anda kullanımda olan üç tane ana mikro-CHP teknolojisi mevcuttur. Bunlar; içten yanmalı motorlar, dıştan yanmalı çevrimler -Stirling motorları, Organik Rankine Çevrimi- ve yakıt hücreleridir. Hâlihazırda kurulu olan ticari mikro-CHP birimlerinin büyük çoğunluğu içten yanmalı motorlara, Stirling motorlarına ve organik Rankine çevrimlerine dayanmaktadır. Elektriksel ve ısıl üretim arasındaki oran, yanma cihazları için daha düşük oranlarla teknolojiler arasında farklılık gösterir, bu nedenle yüksek ısıtma yüklerine sahip büyük binalara daha uygundur. Yakıt hücresi sistemleri ise % 60'a kadar elektrik verimliliğine ulaşabilir ve bu nedenle otomatik üretilen elektriğin öz tüketim şemaları için uygundur (Gandiglio vd., 2020). Yakıt hücreleri, büyük ölçüde karbondan arındırma potansiyeli vaat eden sürdürülebilir bir kojenerasyon teknolojisi olarak kabul edilmektedir (Sun vd., 2021). Yakıt hücresi temelli kojenerasyon sistemlerine ilişkin araştırma ve geliştirme çalışmaları son 10 yılda artan bir ivme kazanmıştır. Yakıt hücresi tabanlı bir mikro-CHP sisteminin konfigürasyonu, yakıt hücresi tipi, yakıt ve uygulama yeri gibi faktörlere büyük ölçüde bağlı olduğundan değişiklik göstermektedir. Buna karşılık, yakıt hücresi tipi ve yakıt, yakıt işlemcisinin konfigürasyonunu da etkiler. Tüm yakıt hücreleri, anot ve katot adı verilen iki adet elektrot ve bu elektrotları birbirinden ayıran elektrolit tabakasından oluşmaktadır. Elektrotlar iyi birer iyonik ve elektronik iletken olmakla birlikte, elektrolit tabakasından yüksek iyonik iletkenliğin yanı sıra elektronik olarak yalıtkan olması beklenmektedir. Böylelikle elektrotlarda gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu üretilen elektronlar dış bir devreden dolaşarak doğru akım (DC) üretilir. Kullanılan yakıt, elektrolit çeşidi (elektrolitten geçen iyon tipi) ve uygulama sıcaklığı gibi parametreler yakıt hücresi çeşitlerinde farklılıklar göstermektedir (Karanfil, 2020). Mikro kojenerasyon sistemlerinde uygulanan en popüler yakıt hücresi çeşitleri polimer elektrolit membran yakıt hücreleri (PEMYH) ve katı oksit yakıt hücreleridir (KOYH) (Ramadhani vd., 2019).

PEM yakıt hücresi teknolojisi, hızlı başlatma (düşük sıcaklıklarda çalışma nedeniyle), yüksek güç yoğunluğu ve düşük emisyonlar gibi bir dizi ek avantaj nedeniyle mikro-CHP sistemlerinde ana taşıyıcı olarak benimsenmesi için çok umut vericidir. PEM yakıt hücresi tabanlı mikro-CHP sistemine ait tipik konfigürasyon Şekil 8'de verilmiştir (Arsalis, 2019).



Şekil 8. PEM yakıt hücresi tabanlı mikro birleşik ısı ve güç sisteminin genel akış diyagramı

PEM yakıt hücrelerine kıyasla, katı oksit yakıt hücreleri (KOYH) çok daha yüksek sıcaklıklarda (1000 °C'ye kadar) çalışmaktadırlar (Arsalis, 2019). KOYH'leri yüksek sıcaklıklarda çalışarak dâhili reformülasyonu, daha fazla yakıt esnekliği, yakıt bileşimindeki ve kojenerasyon uygulamalarındaki değişikliklere daha az duyarlılık ve atık ısıdan elektrik enerjisi üreten çevrimler (Organik Rankine döngüsü, buhar türbini vb.) ile kombinasyon oluşturma imkânı sağlamaktadır (Milcarek vd., 2017). KOYH tabakalı kojenerasyon sistemleri, verimlilik ve mesken yük profillerini karşılamaya uygunluk açısından farklı konfigürasyonlar için (Şekil9) değerlendirilebilir (Arsalis, 2019).



Şekil 9. Katı oksit yakıt hücresi tabanlı mikro birleşik ısı ve güç sisteminin genel akış diyagramı

Yakıt hücresi tabanlı kojenerasyon sistemlerinin yüksek yatırım maliyeti, geleneksel teknolojiler açısından hala en önemli dezavantajdır. Ticari yakıt hücresi tabanlı mikro-CHP sistemleri maliyetleri, Yakıt Hücreleri ve Hidrojen Ortak Girişimi (FCH-JU) hedeflerinden çok daha yüksektir. [5 kW_{el}-400 kW_{el}] aralığında nominal güce sahip enerji sistemleri için FCH-JU, 3500 €/kW_{el} ile 6500 €/kW_{el} arasında bir maliyet hedefi belirlemiştir (Loreti vd., 2019).

2.4. Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Karşılaştırılması

Hâlihazırda ticari olarak kullanılan mikro-CHP sistemleri incelendiğinde, yeni bir teknoloji olan yakıt hücreleri ve geleneksel teknoloji sahip sistemler olarak bir sınıflandırma

yapılabilir. Yatırım maliyeti temelinde bir eşik belirleme yaklaşımı toplam sistem değerlendirmesi için yetersiz olduğu için, yakıt hücresi tabanlı mikro kojenerasyon sistemlerinin doğrudan geleneksel sistemlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Gelecekteki fizibilite çalışmaları için tam ölçekli ve ticarileşmiş sistemleri değerlendirmek, zorunlu bir ihtiyaçtır. Yapılacak değerlendirmeler, sistemleri yaşam döngüsü maliyet düzeyinde inceleyebilmek için kullanım ömrü, yatırım maliyeti ve işletme maliyeti gibi birbirleriyle ilişkili parametreleri de içermelidir. Yeni teknolojilerin, geleneksel ve/veya rakip teknolojilere göre nasıl performans gösterdiğini incelemek için elektriğin birim maliyeti gibi doğru tahminlere dayanan çalışmalarla değerlendirilmesi gerekmektedir. Karşılaştırılan teknolojilerin analizi, çeşitli yük profillerinin ve farklı koşulların da değerlendirmeye alınması ile konuma özgü hale getirilmelidir. Özellikle yük profili tüketimi (ısı-güç oranı dahil), hava koşulları, tüketici davranışı, ev tipi (kapasite ve enerji sınıfı dahil), kaynak kullanılabilirliği, yakıt maliyeti, altyapı, yenilenebilir kaynakların kullanılabilirliği gibi faktörler mutlaka dikkate alınmalıdır. Ayrıca, karbondan arındırma hususlarını da içerecek şekilde çevresel hedefler belirlenmelidir. Genel olarak, üzerinde en çok tartışılan teknoloji olan yakıt hücresi tabanlı mikro-CHP sistemlerinin ticarileştirilmesi büyük ölçüde teknik, ekonomik ve çevresel parametrelerin bir kombinasyonuna bağlı olacaktır (Arsalis, 2019).

Piyasada bulunan ve hâlihazırda konutlarda kullanılan farklı tipte mikro kojenerasyon sistemleri karşılaştırılması Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Karşılaştırılması (Sungur vd., 2017)

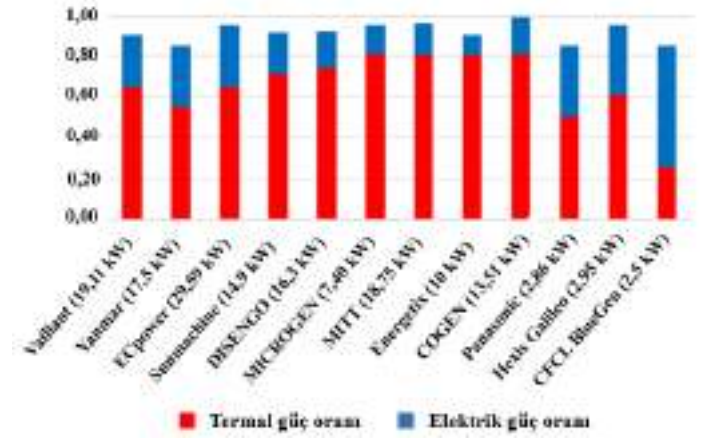
Kojenerasyon Sistem Tipi	İçten Yanmalı Motor	Yakıt Hücresi	Mikro Türbin
Sistem Kapasitesi (kW)	87,96	52,59	68,01
Elektrik Üretim Oranı	0,568	0,475	0,441
Termal Üretim Oranı	0,432	0,525	0,559
Sistem Verimi (%)	50,20	76,10	54,90
Yatırım Maliyeti (\$/kW)	1256,25	4325,91	1310,10
Yıllık Toplam Gider (\$/kWYıl)	525,94	415,28	493,88
Yıllık Kar (\$/kWYıl)	430,33	442,84	328,12
Basit Amortisman Süresi (Yıl)	2,92	9,77	3,99

Not: Tüm sistemlerin kapasite kullanım oranları 0,95 olarak, elektrik fiyatı 0,17 \$/kWh, yakıt fiyatı da 0,043 \$/kWh olarak kabul edilmiştir.

Tabloda sisteme giren toplam enerji, çıkan termal güç ve sistemin toplam verimleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi birim güç başına en yüksek maliyet yakıt hücresi tabanlı sistemlerde, en düşük maliyet ise içten yanmalı motorlardadır. Ancak yıllık gider açısından durum tam ters olmaktadır. Birim güç başına en yüksek maliyet içten yanmalı motorda iken en düşük yıllık toplam gider yakıt hücresi tabanlı sistemlerde olmaktadır. Ancak en düşük amortisman süresi 2,9 yılla yine içten yanmalı motorlu sistemlerde olmaktadır. Yakıt hücresi tabanlı mikro kojenerasyon sistemleri diğer sistemlere

göre daha yeni bir teknolojidir. Tablo 1’de görüldüğü üzere diğer mikro kojenerasyon sistemlerine göre yüksek verime sahip olmasına karşın ilk yatırım maliyeti yüksektir (Sungur vd., 2017). Yakıt hücresi sistemlerinde kimyasal enerji, geleneksel enerji dönüşüm sistemlerindeki birçok ara basamağın aksine doğrudan elektrik enerjisine çevrildiği için enerji dönüşüm verimi daha yüksek olmaktadır (Öztop ve Çıtlak, 2004; Akar vd., 2009).

Ticari mikro kojenerasyon sistemlerinin temel karakteristiklerinin karşılaştırılması Şekil 10’da verilmiştir. Karşılaştırma incelendiğinde, tüm sistemlerin kendi içlerinde değiştiği göze çarpmaktadır. Örneğin; Stirling motorlu mikro kojenerasyon sistemlerinin toplam verimi %91-100 arasında değişiklik gösterirken, içten yanmalı motorlu mikro kojenerasyon sistemlerinin verimleri %84-95,30 arasında ve yakıt hücresi tabanlı sistemlerde ise toplam verim %85-95 arasında değiştiği görülmektedir. Yakıt hücresi hariç diğer mikro kojenerasyon sistemlerinin elektriksel güç çıkışlarının termal güç çıkışlarından düşük olduğu şekilden açıkça görülmektedir. Ayrıca en yüksek verimin %99,9 ile Cogen firmasına ait mikro Rankine kojenerasyon sistemlerine ait olduğu verilmiştir (Sungur vd., 2017).



Şekil 10. Mikro kojenerasyon sistemlerinin temel karakteristiklerinin karşılaştırılması (Sungur vd., 2017).

2.5. Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Dünyadaki Yeri

Yapı sektöründe enerji verimliliğini arttırmak son dönemlerde önemli bir hale gelmiştir (Ünver vd., 2020). Bunun sonucunda da, tek bir kaynaktan elektrik enerjisi üretmenin yanı sıra ortaya çıkan ısı enerjiden yararlanılmasına olanak sağlayan mikro kojenerasyon sistemlerine duyulan ilgi artmış ve çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmaların amaçları, kendi enerjilerini üreten ve mümkünse şebekeye bağımlılığı minimuma indiren sistemler tasarlamaktır. Evsel kojenerasyon sistemlerinde daha çok içten yanmalı motorlar ile birlikte yakıt olarak da benzin/doğalgaz tercih edilmektedir (Dorer vd., 2005).

İlk bölgesel ısıtma sistemi 1877 yılında ABD’nin New York eyaletindeki Lockport’ ta kurulmuştur İngiltere’de 1945 yılından itibaren gelişen bölge ısıtması özellikle son 25 yıllık dönemde kojenerasyon sistemlerinin gelişmesi ile oldukça hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır (Çalapkulu, 2020). 2002 yılına gelindiğinde yaklaşık olarak 1000 adet mikro-CHP ünitesi evlerde faaliyete geçirilmiştir. İngiliz Hükümeti evsel

kojenerasyon sistemi kullanımını hem enerji verimliliğinin yüksek olması hem de ekonomik getirisindeki avantajları nedeni ile desteklemiştir. “EnergySavingTrust” ve “CarbonTrust” enerji verimliliği politikalarını içeren teşvikler yayınlanmış, gerekli yasal ve teknik düzenlemeler ile yatırımcılar desteklenmiştir. Enerji üretimindeki %17,5’lik vergi payı mikro-CHP sistemleri kullanıcıları için %5’e düşürmüştür (Filoglu, 2011).

Evsel kullanım için yakıt hücresi tabanlı mikro-CHP sistemlerinin ilk önemli lansmanı, Ene.Farm projesi ile Japonya’da gerçekleştirilmiştir. 31 Aralık 2018 itibarıyla Japonya’da toplam 292 654 ticari Ene.Farm birimi konuşlandırılmıştır. Japon hükümeti, Ene.Farm programını uzun bir süre yüksek devlet yardımlarıyla desteklemiş, daha sonra endüstri olgunlaştıkça ve devlet yardımı gereksiz hale gelene kadar maliyetler düştükçe kademeli olarak azaltmıştır. Bir yakıt hücresi tabanlı mikro-CHP sistemi için yatırım maliyeti 24 900 €’dan 9400 €’ya düşürülmüştür (Gandiglio vd., 2020).

Ene.field projesi kapsamında (konut tipi yakıt hücresi mikro-CHP için Avrupa çapında saha denemeleri, 2011–2017), 10 ülkede konut ve ticari uygulamalar için, toplam kapasitesi yaklaşık 1155 kW olan 1000’den fazla küçük sabit yakıt hücresi sistemi tabanlı (1046 ünite: 603 KOYH ve 443 PEMYH) dağıtık güç üretim sistemi kurulmuştur. Kurulu üniteler arasında, üretilen 4,5 milyon kWh’den fazla elektrik ile toplamda 5,5 milyon saatin üzerinde çalışma zamanına ulaşılmıştır. Şekil 11, Avrupa’daki Ene.field proje kuruluşlarının bir haritasını göstermektedir (Gandiglio vd., 2020).



Şekil 11. Ene.Field projesinde gösterilen mikro-CHP birimlerinin yerleri (Gandiglio vd., 2020)

Türkiye’deki uygulamalar 2007’de çıkartılan ‘Enerji Verimliliği’ kanunu ile düzenlenmiş ve 2010 tarihinde yayınlanmış olan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ile teşviklere başlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre kullanıcılar çift yönlü sayaç ile ürettiğinden fazlasını şebekeye satabilecek ve 50 kW altı olan üretim sistemleri için lisans almak zorunda kalmayacaktır (Filoglu, 2011).

Bazı Avrupa ülkelerindeki elektrik enerjisi üretiminde ve bölgesel ısıtmada kullanılan kojenerasyon sistemleri için verilen destekler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Bazı Avrupa ülkelerindeki kojenerasyon sistemleri için verilen destekler (Çalapkulu, 2020).

Ülkeler	Verilen Destekler
Almanya	Sabit prim, Vergi indirim, Teşvikli piyasa fiyatı, Yatırım tutarına bağlı %30-40 hibe
Avusturya	Yatırım harcama desteği
Belçika	Karbon emisyon kazanç sertifikası, Vergi indirim, Yatırım harcama desteği
Çek Cumhuriyeti	Sabit prim, Vergi indirim, Satış garantili projeler
Finlandiya	Sabit prim, Vergi indirim, Yatırım harcama desteği
Fransa	Sabit prim, Vergi indirim, Teşvikli piyasa fiyatı, Karbon emisyon kazanç sertifikası
İtalya	Vergi indirim, Karbon emisyon kazanç sertifikası
Slovenya	10 yıl garantili alım desteği
Yunanistan	Teşvikli piyasa fiyatı

3. Sonuç

Nüfus artışının ve teknolojik gelişimin paralelinde artan enerji ihtiyacının karşılanmasında kojenerasyon sistemleri önemli bir rol oynamaktadır. Elektrik ve ısı enerji ihtiyacının tek bir kaynaktan karşılanmasına yönelik evsel kojenerasyon sistemleri geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada, evsel kojenerasyon sistemlerinin özellikleri, çeşitleri ve karşılaştırılmalarıyla birlikte Dünya’daki durumu incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda evsel kojenerasyon sistemlerinin kurulumu ile ilgili tercih yapmadan önce ekonomik ve çevresel olarak dikkate alınması gereken bazı hususlar şu şekilde verilebilir:

- Ekonomik olarak bakıldığında, kurulum maliyeti, yıllık giderler ve geri ödeme süresinin, karşılaştırılabilir çevresel etmenlere bakıldığında ise, emisyon değerleri ve gürültü gibi göz ardı edilemeyecek etkenlerin birlikte incelenmesi gerekmektedir.
- İçten yanmalı motorlu sistemlerin avantajları; üretebileceği elektrik gücünün yüksek olması, yatırım maliyetinin ve geri ödeme süresinin az olması, dezavantajları ise gürültü ve yüksek emisyon değerleridir.
- Yakıt hücresi tabanlı sistemler ise emisyon değerlerinin ve yıllık bakım giderlerinin düşük olması ve çok sessiz bir çalışma sunması avantajlarına sahipken, ilk yatırım maliyetinin ve geri ödeme süresinin yüksek olması ticarileşmelerinin önündeki en büyük engeller olarak görülmektedir.

Sonuç olarak daha sessiz, çevreye duyarlı (düşük emisyon değerleri) bir sistem kurulması istendiğinde yakıt hücresi tabanlı kojenerasyon sistemleri tercih edilebilir. Ancak bu sistemler henüz çok yaygın üretime ve kullanıma geçmemiş olduğu için ekonomik değildir. Fakat evsel uygulamalardaki 1-50 kW’lık enerji ihtiyaçlarında; yüksek üretim gücü, daha ulaşılabilir ve kurulabilir bir teknolojiye sahip olması, kısa geri ödeme süresi gibi avantajlarından dolayı yaygın olarak içten yanmalı motorlu kojenerasyon sistemleri tercih edilmektedir.

Kaynakça

- Abuşoğlu, A., Demir, S., Kanoğlu, M. (2013) Biyo gaz Beslemeli Gaz Motorlu Bir Kojenerasyon Sisteminin Termoekonomik Analizi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33, 09-21.
- Akar, E., Genç, F., Sağlam, G., Baranak, M., Korkmaz, Ö.C., Obut, S., Akgün, F. (2009) Eysel Mikro Kojenerasyon Uygulamaları ile Enerji Verimliliğinin Arttırılması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 112, 62.
- Arsalis, A. (2019) A comprehensive review of fuel cell-based micro-combined-heat-and-power systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 105, 391-414.
- Belth, R. (2011) Small and micro combined heat and power (CHP) systems: Advanced design, performance, materials and applications, Woodhead Publishing, 3.
- Boyce, M.P. (2010) Handbook For Cogeneration and Combined Cycle Power Plants Second Edition, ASME Press, 31.
- Ciampi, G., Rosato, A., Scorpio, M., Sibilio, S. (2016) Energy Performance of A Residential Building-Integrated Micro-Cogeneration System Upon Varying Thermal Load And Control Logic, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 11, 75-88.
- Çalapkulu, S.R. (2020) Kojenerasyon Sistemleri ve Trijenerasyon Sistemleri, *Mühendis ve Makine*, 53-62.
- Çengel, Y.A. ve Boles, M.A. (2013) Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw-Hill, 551-587.
- Demir, H., Çıracı, G., Kaya, R., Ünver, Ü. (2020) Aydınlatmada Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Durum Değerlendirmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25 (3), 1637-1652.
- Dorer, V., Weber, R., Weber, A. (2005) Performance assessment of fuel cell micro-cogeneration systems for residential buildings, Elsevier, 1133-1135.
- Ener Ruşen, S., Topçu, M.A., Karanfil Celep, G., Çeltek, S.A., Ruşen, A. (2018) Üniversite Kampüs Binaları için Enerji Etüdü: Örnek Çalışma, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33, 83-92.
- Erbiyik, H., Çatal, T., Durukan, S., Topaloğlu, D.G., Ünver, Ü. (2021) Assessment of Yalova University Campus According to LEED V.4 Certification System. *Environmental Research and Technology*, 1, 1-17.
- Ferguson, A., Kelly, N., Weber, A., Griffith, B. (2009) Modelling residential-scale combustion-based cogeneration in building simulation, *Journal of Building Performance Simulation*, 2, 1-14.
- Filoğlu, E. (2011) Türkiye’de Mikro Kojenerasyon, Türkiye Kojenerasyon ve Temiz Enerji Teknolojileri Derneği, 88, 1-6.
- Flin, D. (2009) Cogeneration: A user's guide, The Institution of Engineering and Technology.
- Forsthoffer, W.E. (2011) Forsthoffer’s Best Practice Handbook for Rotating Machinery, Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- Frangopoulos, C.A. (2017) Cogeneration: Technologies, optimization and implementation, The Institution of Engineering and Technology, 1.
- Fuchs, E.F. ve Masoum, M.A.S. (2011) Power Conversion of Renewable Energy Systems, Springer.
- Gandiglio, M., Ferrero, D., Lanzini, A., Santarelli, M. (2020) Fuel cell cogeneration for building sector: European status, *REHVA Journal*, 21-25.
- Goswami, D.Y. ve Kreith, F. (2016) Energy Efficiency and Renewable Energy Handbook, Second Edition, CRC Press, 892-893.
- Horlock, J.H. (2003) Advanced Gas Turbine Cycles, Elsevier Pergamon.
- International Energy Agency (IEA), (April 2009) Co-Generation and District Energy.
- Karanfil, G. (2020) Proton Değişim Membran Yakıt Hücreleri: Termodinamiği, Bileşenleri ve Uygulama Alanları, *Mühendis ve Makine*, 61, 57-76.
- Karanfil, G., Ener Ruşen, S., Poyraz, Ş.N., Can, M. (2020) Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri ve Isıl Verim Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 127-137.
- Kaya, D., Öztürk, H.H., Kayfeci, M. (2017) Hidrojen ve Yakıt Pili Teknolojisi, Umuttepe Yayınları.
- Khartchenko, N.V. ve Khartchenko, V.M. (2014) Advanced Energy Systems, CRC Press, 206-231.
- Kolanowski, B.F. (2011) Small-scale Cogeneration Handbook Fourth Edition, The Fairmont Press, 11-44.
- Loreti, G., Facci, A.L., Peters, T., Ubertini, S. (2019) Numerical modeling of an automotive derivative polymer electrolyte membrane fuel cell cogeneration system with selective membranes, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 4508-4523.
- McLean-Conner, P. (2009) Energy Efficiency: Principles and Practices, PennWell Corporation.
- Milcarek, R.J., Ahn, J., Zhang, J. (2017) Review and analysis of fuel cell-based, microcogeneration for residential applications: Current state and future opportunities, *Science and Technology for the Built Environment*, 23, 1224-1243.
- Moran, M.J., Shapiro, H.N., Boettner, D.D., Bailey, M.B. (2014) Fundamentals of Engineering Thermodynamics, John WILEY and Sons, 442-480.
- Onovwiona, H.I ve Ugursal, V.I. (2006) Residential cogeneration systems: Review of the current technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10, 389-431.
- Öztop, H.F. ve Çıtlak, A. (2004) Yakıt Pili Kojenerasyon Sistemlerinin Eysel ve Ticari Binalarda Uygulamaları, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 82, 42-44.
- Pravadaloğlu, S., Yerinde Enerji Üretimi- Kojenerasyon Sistemleri, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27 Kasım 2011, İzmir.
- Pulkrabek, W.W. (1997) Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Pearson Education, Prentice Hall.
- Ramadhani, F., Hussain, M.A., Mokhlis, H. (2019) A Comprehensive Review and Technical Guideline for Optimal Design and Operations of Fuel Cell-Based Cogeneration Systems, *Processes*, 7, 950.
- Sun, L., Jin, Y., Shen, J., You, F. (2021) Sustainable Residential Micro-Cogeneration System Based on a Fuel Cell Using Dynamic Programming-Based Economic Day-Ahead Scheduling, *ACS Sustainable Chemical Engineering*, Doi:10.1021/acssuschemeng.0c08725
- Sungur, B., Özdoğan, M., Topaloğlu, B., Namlı, L. (2017) Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi’ *Mühendis ve Makine*, 58, 14-15.
- Tanaka, N. (2009) Cogeneration and District Energy: Sustainable Energy Technologies for Today and Tomorrow, International Energy Agency (IEA), 15.
- Thulukkanam, K. (2013) Heat Exchanger Design Handbook Second Edition, CRC Press.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA), (2008) EPA’s Report on Environment.

- Ünver, Ü. ve Kılıç, M. (2005) Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Termodinamik Analizi, *Mühendis ve Makine*, 46, 47-56.
- Ünver, Ü., Kılıç, M. (2007) Second Law Based Thermoeconomic Analysis of Combined Cycle Power Plants Considering The Effects of Environmental Temperature and Load Variations, *International Journal of Energy Research*, 31, 148-157.
- Ünver, Ü., Kılıç, M. (2017) Influence of Environmental Temperature on Exergetic Parameters of A Combined Cycle Power Plant. *International Journal of Exergy*, 22, 73-88.
- Ünver Ü., Kelesoglu, A., Kilic, M. (2018) A Novel Method for Prediction of Gas Turbine Power Production: Degree-Day Method, *Thermal Science*, 22, 809-817.
- Ünver, Ü., Adıgüzel, E., Adıgüzel, E., Çivi, S., Roshanaei, K. (2020) Türkiye'deki İklim Bölgelerine Göre Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları, *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1, 171-187.
- Wang, S.K. (2001) *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, McGraw-Hill.
- Whitman, W.C., Johnson, W.M., Tomczyk, J.A., Silberstein, E. (2013) *Refrigeration & Air Conditioning Technology: 25th Anniversary*, Delmar, Cengage Learning.
- Yavuzdeğer, A. ve Ekinçi, F. (2019) Performance Analysis of Grid-Connected Micro-Cojeneration System Based on The Internal Combustion Engine, *European Mechanical Science*, 3, 164-169.



Bodrum Yarımadası Kent Taşkınlarının Nedenleri ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Çalışma

Cengiz Koç^{1*}

^{1*} Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000 0001 7310 073X) cengizko9@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 17 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898178)

ATIF/REFERENCE: Koç, C. (2021). Bodrum Yarımadası Kent Taşkınlarının Nedenleri ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 207-216.

Öz

Taşkınlar bir alanın gelişimini etkileyen en tehlikeli doğal felaketler arasındadır. Dünya genelinde taşkın olayları en fazla ölüme ve maddi hasara neden olmaktadır. Artan kentleşme ve nüfus doğal çevre üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Kentsel alanlarda kontrolsüz bina inşaatı, yeşil alanların azalması, arazi kullanım değişiklikleri ve kentsel planlama eksikliği gibi insan kaynaklı faaliyetler taşkınları etkilemektedir. Kentsel taşkın yönetiminde, taşkınının büyüklüğünü ve risk alanlarını belirlemek yaşanabilecek zararları azaltmak için son derece önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli turizm merkezlerinden biri olan Bodrum yarımadasında yer alan beş dereye ait su toplama havzasının mansabında giderek artan kentleşme, mevcut taşkın ve drenaj tesislerine kentsel gelişim amaçlı yapılan müdahaleler ve iklim değişikliğinden kaynaklanan ani taşkın olayları incelenmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemiyle yarımada kentsel büyümesinin 1985-2020 yılları arasında %11.36 oranında arttığı belirlenmiştir. Yarımada da Aliyan deresi yıllar içerisinde taşkın oluşturma riskinin en fazla büyüme gösterdiği havza olarak dikkat çekmiştir. Aliyan deresinin ardından riskli havzalar olarak Çukur, Gökçeler ve Gaz havzaları gelmektedir. Çalışma sonucunda, kentleşmedeki artışın taşkın debilerinin büyümesine ve taşkın riski altındaki alanların artmasına neden olduğu belirlenmiştir. Yarımada da inşa edilen taşkın tesislerine yapılan müdahaleler, arazi kullanımındaki değişiklikler, kentsel büyüme ve çarpık kentleşmenin yarattığı taşkın sorunları belirlenerek oluşabilecek taşkın zararlarını en aza indirmek ya da ortadan kaldırmak için beş dere havzasının memba ve mansabında alınması gereken önlemler ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kent taşkınları, kentleşme, arazi kullanım değişiklikleri, taşkın tesisleri, Bodrum yarımadası.

A Study on Solution Suggestions and Causes of Bodrum Peninsula Urban Floods

Abstract

Floods are among the most dangerous natural disasters affecting the development of an area. Flood events cause the most deaths and material damage in worldwide. Increasing urbanization and population create significant effects on the natural environment. Human-induced activities such as uncontrolled building construction in urban areas, reduction of green areas, land use changes and lack of urban planning affect floods. In urban flood management, determining the magnitude and risk areas of the flood is extremely important in order to reduce the damages which may occur. In this study, increasing urbanization at downstream of the catchment of the five streams located in Bodrum peninsula, one of Turkey's most important tourism centers, interventions aimed at development of the urban to the current flood and drainage facilities, and sudden floods arising from climate change, are investigated. It was determined that the urban growth of the peninsula increased by 11.36% between 1985-2020 with the Geographical Information System. In the peninsula, Aliyan Stream has attracted attention as the basin where the risk of flooding has grown the most over the years. After Aliyan stream, Çukur, Gökçeler and Gaz catchments are ranked as risky catchments. In the results of studying, it has been determined that the increase in urbanization causes an increase in flood flow rates and an increase in the areas under flood risk. The measures to be taken upstream and downstream of the five stream catchments have been suggested to minimize or eliminate flood damages to be occurred by determining the flood problems that interventions to the flood facilities built on the peninsula, changes in land use, urban growth and unplanned urbanization caused.

Keywords: Urban floods, urbanization, land use changes, flood facilities, Bodrum peninsula.

* Sorumlu Yazar: cengizko9@gmail.com

1. Giriş

Taşkın olayları, nüfus, arazi kullanımındaki değişiklikler, kentsel yerleşim alanlarının artması, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi nedenlere bağlı olarak daha az tahmin edilebilir bir hale gelmektedir. Kent merkezlerinde taşkın riski oldukça yüksektir ve özellikle, nehirler ve kıyılarda yer alan kentlerin daha hızlı büyümesi, insanlar ve binaların taşkına maruz kalmasını artırmaktadır (Jha vd., 2012). Artan dünya nüfusuyla bağlantılı olarak yaşanan küresel iklim değişikliği taşkın felaketlerinin artarak devam edeceğini göstermektedir (Hirabayashi vd., 2013; Wahl vd., 2015). Taşkın zararlarının etkili görüldüğü yerlerin şehirleşmenin fazla olduğu kentsel bölgeler olduğu bilinmektedir. Günümüzde küresel nüfusun yaklaşık %55'i şehirlerde yaşamaktadır. Bu rakamın 2050 yılına kadar %68'e ulaşması beklenmektedir (UN, 2018). Taşkın olaylarının sayısı ve ortaya çıkan zararları günümüzde de artmakta olup, 1998 ile 2017 yılları arasında taşkından etkilenenler dünyada oluşan afetlerden etkilenen insanların %45'ini oluşturmaktadır (UNISDR, 1998-2017). Dünyada, 2018 yılında 1860 şehrin 683'ü yani üçte birinden fazlasının taşkın riskinin yüksek olduğu alanlarda bulunduğu bildirilmiştir (Gu, 2019). Taşkın riskinin yüksek olduğu şehirlerin özellikle kıyı şeridi kentleri olduğu bilinmektedir. Aşırı yağış olaylarının artması ve deniz seviyesinin yükselmesi bu kentlerdeki taşkın riskini artırmaktadır (Buurman & Babovic, 2016; Hallegatte vd., 2013; Hansen & Pauleit, 2014). Taşkın riskini etkileyen bir diğer önemli faktör ise arazi kullanımının değişimidir. Özellikle şehirleşme, düşen yağışın yeraltına sızmasını engelleyen geçirimsiz yüzeylerin artmasına neden olmaktadır (Chen vd., 2013; Jacobson, 2011; Liu vd., 2015; Kuang vd., 2016; Scholz, 2004). Arazi kullanımındaki değişiklikler, kentleşmenin artması ve iklim değişikliğinin etkileri kentler ve kent taşkınları arasındaki karmaşıklığı artırmaktadır (Pettersson vd., 2018). Pathirona vd (2014) birçok çalışmada, taşkın tehlikesi ve kentsel büyüme, kentsel büyümeye bağlı arazi kullanım değişikliğinin kentlerde ve çevresindeki aşırı yağış değişkenliği üzerine etkisini duyarlılık çalışmaları ile araştırmışlardır. Geçirimsiz yüzeyler, düşen yağışın akış hacmini önemli oranda artırarak taşkın debisinin büyüklüğünü artırmaktadır. Ayrıca, akışın membadan mansaba ulaşma süresini kısaltarak ani taşkınların yaşanmasına neden olmaktadır (Abas & Hashim, 2014). Birçok çalışma, bir taşkın riski çalışmasının kentsel planlama sürecinin bir parçası olarak göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir (Zhou vd., 2019; Liao, 2012). Kentsel nüfusun hızla artması, yetersiz kentsel drenaj tasarımı ve alt yapının yaşlanması insanlar ve binaları taşkın riskine maruz bırakmaktadır (Miller & Mobini, 2017; Sørensen & Hutchins, 2017). Arazi kullanımındaki değişikliklerin akış miktarına olan etkisini değerlendirmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Birçok araştırmacı, taşkın ovalarındaki kentsel faaliyetlerin artmasının pik akışları artırdığını, zirveye çıkma süresini kısalttığını ve akış hacmini artırdığını ortaya koymuştur (Sanyal & Lu, 2004; Satheeshkumar vd., 2017). Yapılan bazı çalışmalar özellikle, yapı çevre üzerine taşkınların etkisini incelemiştir (Ahmad vd., 2019). Devi vd (2019) Kentsel gelişimin önemi ve yağışlardaki değişiklikler bir şehirde taşkın felaketinin olası en kötü sonuçlarını değerlendirmiş ve her yıl ortalama 1.7 kat daha fazla binanın taşkın tehlikesine maruz kaldığını göstermiştir.

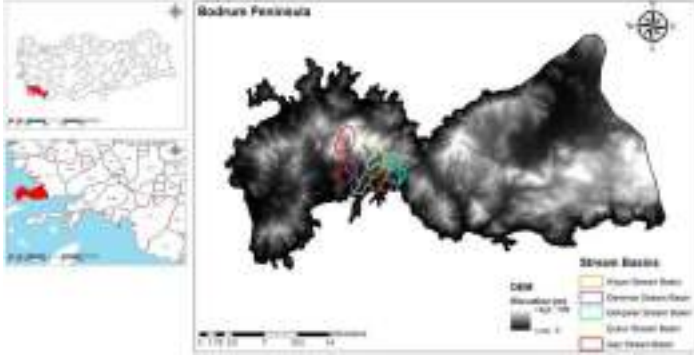
Uzaktan algılama teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamaları, kentleşme ve nehir akımları arasındaki ilişkinin belirlenmesinde yararlı araçlardır. Uydu görüntüleri, geniş alanlarda ve sürekli algılama yapma özellikleriyle birçok doğal felakete karşı önceden planlama yapılmasında, risk bölgelerinin belirlenmesinde ve sonuçların izlenmesinde vazgeçilmez bir kaynaktır. Özellikle, kentleşmenin taşkınlar üzerinde etkisi göz önüne alındığına uydu görüntülerinden arazi değişiminin belirlenebilmesi bu konuda önemli bir veri kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde uydu görüntülerinden arazi kullanımı haritalarının oluşturulmasında farklı uzaktan algılama teknikleri kullanılmaktadır (Gündoğdu vd., 2002; Lockaby vd., 2011; O'Driscoll vd., 2010; Walsh vd., 2016; Walega vd., 2020; Chikwue, 2019; Salimi vd., 2017; Sudhakar vd., 2015).

Bu çalışmada, Dünya ve ülkemizde önemli bir turizm merkezi olarak kabul görmüş Bodrum yarımadası ele alınmıştır. Bodrum yarımadasında nüfus ve şehirleşmenin çok fazla olduğu ve sıklıkla taşkınların meydana geldiği Aliyan, Gerence, Gökçeler, Çukur ve Gaz derelerinin havzaları incelenmiştir. Ayrıca, Bodrum yarımadasında inşa edilmiş taşkın tesislerine yapılan müdahaleler, 1985-2020 yılları arasında arazi kullanımındaki değişiklikler, kentsel büyüme ve çarpık kentleşmenin yaratacağı taşkın problemleri belirlenerek oluşabilecek taşkın zararlarını en aza indirmek ya da ortadan kaldırmak için beş dere havzasının memba ve mansabında alınması gereken önlemler ortaya konmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Bodrum yarımadası Türkiye'nin güney batı ucunda yer alan önemli bir turizm kentidir. Yarımada 37°21'18" Kuzey enlemi, 27°25'45" Doğu boylamında yer almakta olup, kuzeyinde Güllük körfezi, güneyinde Gökova körfezi batısında ise Ege denizi bulunmaktadır (Şekil 1). Bodrum yarımadası 680 km²'lik bir alana, 174 km'lik bir kıyı şeridinde sahiptir (Koç vd., 2017). Bölge Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Yarımada, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı bir iklime sahiptir. Bodrum yarımadası önemli bir turizm bölgesi olması nedeniyle bölgenin nüfus dağılımı yarımada'nın sahil şeridinde yoğunlaşmıştır. Özellikle sahil şeridinde artan nüfus ile birlikte kentleşme de hızla artmıştır (Koç vd., 2020). Son yıllarda yerel ve ulusal basında bölgenin maruz kaldığı taşkın haberleriyle sıklıkla karşılaşılmaktadır. Özellikle kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde yağışlı dönemlerde bir çok taşkın olayı yaşanmaktadır. Yaşanan taşkınların en sık meydana geldiği dereler yarımada'nın güneyinde yer almakta ve denize mansaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki dere yatakları (taşkın drenaj sistemi) kentleşme sonucu doğal durumunu kaybettiği için taşkınların sıklıkla meydana geldiği düşünülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada taşkınların sıklıkla meydana geldiği Aliyan, Gerence, Gökçeler, Çukur ve Gaz dereleri ve havzaları incelenmiştir.



Şekil 1. Bodrum Yarımadasının Türkiye'deki Konumu

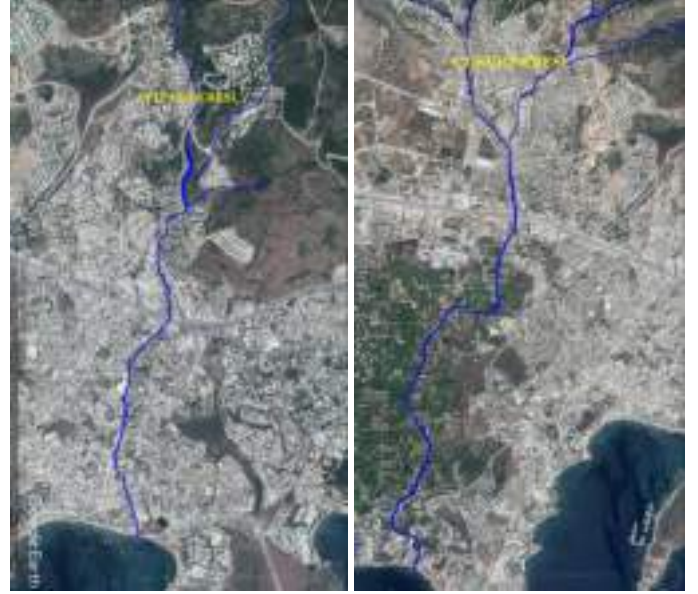
2.2. Taşkın Oluşturan Dereler ve Müdahaleler

Bodrum ilçe merkezinin betonla kaplı olması ve aşırı kentleşmenin bir sonucu olarak mevcut taşkın tesislerine yapılan müdahaleler yağış sularını kısa sürede yüzeysel akışa geçirmekte ve ani taşkınlara neden olmaktadır. İlçe merkezindeki dere yataklarının tamamı Devlet Su İşleri (DSİ)'nin izni olmaksızın imara açılarak bina, cadde, yol, otopark ve kaldırım inşa edilmiş olduğundan yüzeysel yağmur sularının zamanında tahliye olabilmesi için gerekli drenaj alt yapısı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, yoğun yağışlarda özellikle Bodrum ilçe merkezi sürekli taşkın riski altında kalmaktadır. İlçe merkezinde taşkınlar meydana getiren ve sorun yaşanan dereler, doğudan batıya doğru (Bodrum girişinden yarımada doğru) sıralanırsa, Gökçeler, Gerence, Aliyan, Çukur ve Gaz dereleridir (Şekil 2, 3, 4, 5, 6). Bodrum kent merkezinde kalmış olan derelerin her birinin etrafında yoğun yerleşim alanları bulunmaktadır. Bu nedenle, derelerin bazı bölümlerinin üzeri kapatılarak yol, oto park, kaldırım ve bina yapılarak işgal edilmiştir. Bu durum, yoğun yağışlarda özellikle, kent merkezini sürekli taşkın riski altında bırakmaktadır. Kent merkezinde oluşan taşkınların en önemli nedenleri, derelerin mansap noktalarının kent içerisinde yer alması, pik debileri iletebilecek yeterli kesitte dere yataklarının olmaması ve plansız kentsel gelişmedir. Koç vd (2010) Büyük menderes ve Batı Akdeniz havzalarında işletmede olan taşkın tesislerine yapılan müdahaleler üzerine yaptığı çalışmada, yanlış imar uygulamaları ve arazi kullanım değişiklikleri nedeniyle dere yataklarının daraltılması, mevcut durumuna göre daha küçük kesitli kanal içerisine alınması ve kesit alanlarının diğer kullanım amaçları için küçültülerek kısmen yada tamamen yok edilmesi, üzeri kapatılarak otopark yapılması ve yol haline getirilmesinin taşkın olaylarının etkisini ve şiddetini artırdığını belirtmektedir.



Şekil 2. Gökçeler Deresi

Şekil 3. Gerence Deresi



Şekil 4. Aliyan Deresi

Şekil 5. Çukur Deresi



Şekil 6. Gaz Deresi

2.2.1. Gökçeler Deresi

Bodrum merkez girişinde yer alan ve taşkın oluşturan ilk dere olan Gökçeler deresi, yağış havzası küçük olmasına karşın Bodrumda taşkın etkisinin en fazla görüldüğü deredir (Şekil 2).Yokuşbaşı mahallesinden geçerek Azmakbaşı mevkiinde denize mansaplanmaktadır. Gökçeler deresi, mansabının şehir merkezinde yer alması, uygun kesitte yatağının olmaması ve plansız yapılaşma nedeniyle en fazla taşkın oluşturan dere konumundadır. Gökçeler deresinin Bodrum-Turgutreis karayolunu kestiği bölümde, Bodrum Ticaret Odası binası yer almaktadır. Devamında inşa edilen menfez ile Bodrum-Turgutreis karayolunun altından geçmektedir. Derenin Bodrum-Turgutreis karayolunu kesip, yolun güneyine geçtiği bölümünde üzerinin kapatıldığı ve buraya Bodrum İlçe Emniyet Müdürlüğü binasının inşa edildiği görülmektedir. Dere yatağı kare şeklinde bir kutu menfezden geçirilmiş, çıkışı ise Emniyet Müdürlüğü binasının altına insan ve hayvan girişini engellemek amacıyla demir ızgara ile kapatılmıştır. İlçe merkezinde 2015 yılında meydana gelen taşkın sırasında ızgara tıkanarak arkasında büyük miktarda su biriktirmiş ve ardından basınca dayanamayıp patlamıştır. Dere yatağı Emniyet Müdürlüğü çıkışında plansız ve yetersiz kesitte büz içerisine alınarak önce Reşitoğlu Hacı Halil Efendi Sokağı, ardından da Üçkuyular Caddesi altından geçerek denize mansaplanmaktadır.

2.2.2. Gerence Deresi

Gerence deresi, kentin doğudan batıya doğru ilerleyen ikinci deresidir. Kısmen açık kesit, kısmen kapalı kesit olarak ilerlemektedir. Türkkuşu mahallesinden gelen ve Lapaçavuş Sokağı boyunca ilerleyip, Bodrum-Turgutreis karayolunu kestikten sonra kısmen açık kesit, kısmen kapalı kesit olarak ilerlemekte ve Bodrum Hükümet Konağı'nın batısından denize mansaplanmaktadır (Şekil 3).

2.2.3. Aliyan Deresi

Doğudan batıya doğru üçüncü dere olan Aliyan deresi, Konacık mahallesinin doğu tarafında, üst kotlardan gelecek Bodrum-Turgutreis karayolunu kesmekte ve Gümbet mahallesinden geçerek Gümbet sahilinden denize mansaplanmaktadır (Şekil 4). Aliyan deresindeki en büyük problem mevcut yol geçişlerinde bulunan yetersiz kesitteki menfezlerdir. Dere üzerinde inşa edilmiş 9 adet menfez yapısının acil olarak yenilenmesi gerekmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından duble yol kapsamında inşa edilen Bodrum-Turgutreis Karayolunun Aliyan Deresinden geçişini sağlayan menfezin 29.11.2018 tarihinde tıkanması sonucu karayolu su altında kalmıştır (DSİ, 2019). Aliyan Deresinin membasına düşen yağışları tutmak ve oluşabilecek taşkınları önleyebilmek amacıyla 2018 yılında tersip bendi inşa edilmiştir.

2.2.4. Çukur Deresi

Vaziyet planında dördüncü sırada yer alan Çukur deresi, Konacık mahallesinden gelecek Bodrum-Turgutreis karayolunu kestikten sonra Bitez sahilinde denize mansaplanmaktadır (Şekil 5). Projeye göre Bodrum-Turgutreis karayolu menfezi dışındaki güzergahın tamamında kesitler yetersizdir. Ayrıca, Bitez Mahallesinde dere güzergahının yaklaşık 2 km'lik kısmı mevcut durumda yol olarak kullanılmaktadır. Yol olarak kullanılan güzergaha Söğütlü caddesi ismi verilmiştir. Güzergahın bazı kısımlarında taban betonlaması yapılmıştır.

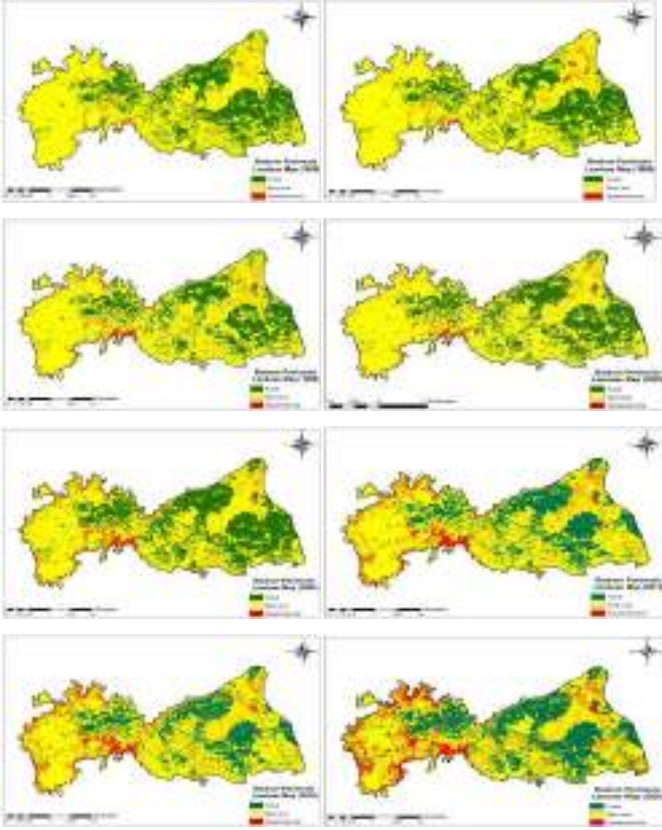
Kişilerin kendi imkanları ile yaptığı bahçe duvarları, dere güzergahı caddeye çevrildiği için istinat duvarı görevi görmektedir. Bu nedenle, duvarı olmayan parseller taşkın riski altında bulunmaktadır.

2.2.5. Gaz Deresi

Konacık mahalle sınırları içerisinde, üst kotlardan aşağıya doğru inerek, Bitez sahilinde denize mansaplanan Gaz deresi vaziyet planında doğudan batıya doğru gösterilen beşinci deredir (Şekil 6). Bu derenin, Bodrum-Turgutreis karayolu öncesinde bulunan sanayi sitesi bölgesinde yatak ıslahı yapılmış olup, kesit yeterlidir. Karayolu menfezi de yeterli kesite sahiptir. Gaz deresi, Bodrum-Turgutreis karayolu'nu geçtikten sonra, Bodrum Adliye Sarayı'nın hemen ardından geçmektedir. Ancak, memba tarafında oldukça büyük bir yatağa sahip olan Gaz deresinin üzeri buradaki yol geçişi nedeniyle kapatılmış ve su geçişi için iki adet Ø 80 cm çapında büz konularak kapatılmıştır. Bu büzlerin kesiti, kesinlikle yeterli olmadığı gibi zaten yetersiz olan kesitler çeşitli katı atıklar ile tamamen tıkanmaktadır. Gaz deresinin söz edilen kesiminin devamında (mansap tarafında), Adliye caddesinin sağ tarafına çıkarak, Cadde boyunca sağ taraftan dar bir kesit ile devam etmektedir. Bir noktadan sonra dere yatağının etrafı korkuluklar ile çevrilerek, devamı kapalı kesit (Ø 80 cm büz) şeklinde devam ettirilmiştir. Ancak, kapalı kesitin başladığı yerdeki büzün ağzı tıkanmış ve mansap şartı tamamen ortadan kalkmıştır. Bu durum nedeniyle sel suları tamamen yola taşmaktadır. Belediye tarafından bu kesimde bir miktar temizlik yapılmış ancak, büzün ağzı yine de açılmamıştır. Olası yeni bir yağış durumunda aynı taşkın olayının yenilenmesi kaçınılmazdır. Gaz deresinin yan kolu olan Bal deresiyle birleştiği kısımdan sonra Bodrum ilçesinin genel bir sorunu olan dere yataklarının yol olarak kullanımı konusu burada da karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu dereler şehir merkezi içerisinde kalmış olup her birinin etrafında yoğun ve çarpık yerleşim mevcuttur. Yer yer üzeri kapatılarak yol olarak kullanılan ve bazı bölümlerde yerleşim yerlerine ulaşılacak tek yol konumunda bulunan bu derelerin ıslah edilmesi, uygulama aşamasında oldukça zor ve uzun zaman alacaktır.

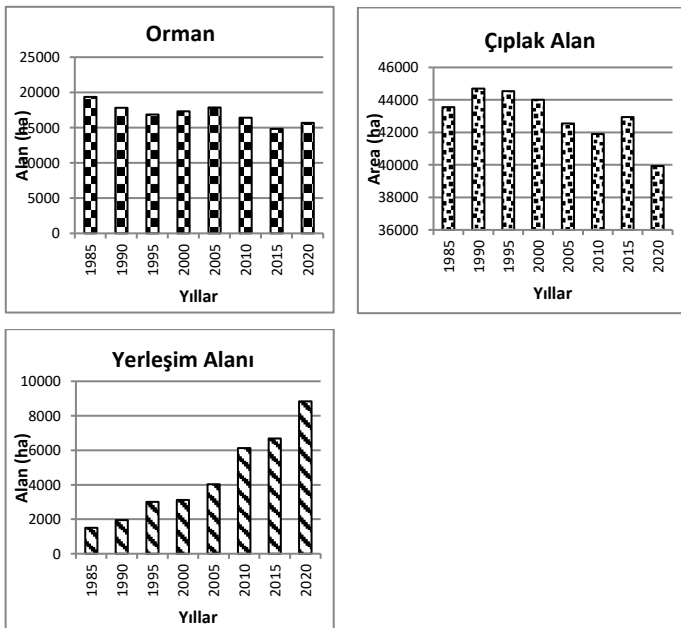
2.3. Arazi Kullanımındaki Değişimler ve Kentleşme

Uydu görüntülerinden elde edilen görüntüler kontrollü sınıflandırma yapılarak çalışma alanı 3 ana arazi kullanımı sınıfı (Orman alanı, Çıplak alan, Yerleşim alanı) altında değerlendirilmiştir. Beş yıllık periyotlar ile 1985-2020 yılları arasında arazi kullanımının değişimi bölgede şehirleşmenin hızlı bir şekilde arttığını göstermektedir. Çalışmada kontrollü sınıflandırmaya göre 1985-2020 yıllarındaki arazi kullanım haritaları Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde ilk göze çarpan kırmızı renkle gösterilen yerleşim alanlarının 1985 yılından 2020 yılına doğru düzenli bir şekilde artış göstermesidir. Sarı ile gözüken çıplak arazinin yerini yerleşim yerlerine bıraktığı gözlenmiştir. Bu durum, Bodrum yarımadasının giderek artan turizm potansiyeli nedeniyle şehirleşmenin çıplak arazilerin yerine geçtiği görülmektedir. Orman arazilerinde ise çıplak araziye göre nispeten daha düşük oranda azalma meydana geldiği görülmüştür. Şekil 8'de verilen grafiklerde 1985-2020 yılları arasında arazi değişiminin alansal değişimi ortaya konmaktadır.



Şekil 7. Arazi kullanımının yıllara göre değişimi (Koç vd., 2020)

Şekil 8'den görüleceği üzere yarımadadaki ormanlık alanlar %5.75 azalarak 2020 yılında 15665.58 ha'lık bir alanı kapladığı hesaplanmıştır. İncelenen 35 yıllık süreç içerisinde çıplak araziler %5.61 azalarak 2020 yılında 39937.77 ha'lık alan kapladığı görülmüştür. Yarımada yerleşim alanlarında, orman ve çıplak arazinin aksine artış görülmüştür. 1985 yılında 1510,94 ha'lık alanla yarımadanın sadece %2.35'lik kısmını kaplayan yerleşim alanları, 2020 yılına gelindiğinde 8830.88



Şekil 8. Arazi kullanımındaki değişimler (Koç vd., 2020)

ha'lık alanla %13.71'ini kapladığı görülmüştür. Bu durum yarımadadaki şehirleşmenin %11.36'lık bir artış gösterdiğini ortaya koymaktadır (Koç vd., 2020). Yapılaşma için uygun olmayan yer seçimleri, yanlış mekansal planlamalar ve uygulamalar kentsel taşkınların meydana gelmesine neden olmaktadır. Bodrum yarımadasının 2019 yılındaki yoğun yerleşim yerleri ve taşkın oluşturan dere güzergahları Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Bodrum yarımadası yoğun yerleşim bölgeleri ve dere güzergahları (DSİ, 2019)

Soil Conservation-Curve Number (SCS-CN) Yağış-Akış modelinde 1984, 2010, 2011 ve 2019 yıllarına ilişkin uydu görüntülerinin kontrolü sınıflandırılması yapılarak bölgenin toprak verileriyle birlikte değerlendirilerek Eğri numaralarının CN (Curve Number) arazi kullanım alanlarına göre ortalama değerleri hesaplanmıştır. Kontrollü sınıflandırmada havzalar orman, çıplak arazi ve yerleşim alanı olarak üç sınıf altında arazi kullanım haritaları oluşturulmuştur. Aliyan, Gerence, Gökçeler, Çukur ve Gaz dere havzalarının arazi kullanımı ve yıllara göre değişimi Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Aliyan, Gerence, Gökçeler, Çukur ve Gaz dere havzalarında incelenen yıllara göre arazi kullanımındaki değişim (Bayazıt vd., 2021)

Havza	Yıl	Arazi Kullanımı	Alan (%)	Yıl	Alan (%)	Yıl	Alan (%)	Yıl	Alan (%)
Aliyan	1984	Orman	10.9	2010	1.2	2011	0.5	2019	11.8
		Çıplak	82.4		34.5		30.3		14.1
		Yerleşim	6.5		64.2		69.0		73.9
Gerence	1984	Orman	1.5	2010	0	2011	0	2019	8.6
		Çıplak	64.9		24.7		22.0		8.6
		Yerleşim	33.4		75.2		77.9		91.3
Gökçeler	1984	Orman	19.0	2010	21.8	2011	17.3	2019	23.5
		Çıplak	75.0		46.6		50.4		28.6
		Yerleşim	5.9		31.5		32.1		47.7
Çukur	1984	Orman	20.4	2010	28.6	2011	23.9	2019	38.4
		Çıplak	74.9		39.4		40.2		16.1
		Yerleşim	4.6		31.8		35.7		45.3
Gaz	1984	Orman	21.5	2010	32.9	2011	28.6	2019	40.2
		Çıplak	73.8		44.3		42.4		17.9
		Yerleşim	4.6		22.6		28.8		81.5

Son zamanlarda yapılan birçok çalışmada kara örtüsü haritalarını üretmek ve doğruluklarını test etmek için düşük maliyetli ve makul derecede doğru referans verileri sağlamak için yüksek çözünürlüklü görüntülerin görsel yorumlamasını kullanılmaktadır (Clark & Aide, 2011). Uydu görüntülerinden elde edilen görüntüler kontrollü sınıflandırma yapılarak çalışma alanı üç ana arazi kullanım sınıfı (ormanlık, çıplak, yerleşim) altında değerlendirilmiştir. 1984, 2010, 2011 ve 2019 yılları arasında arazi kullanımının değişimi bölgede kentleşmenin hızlı bir şekilde arttığını göstermektedir. Kentleşmenin artması düşen yağışların zemine sızmaksızın doğrudan akışa geçeceği alanları artırmıştır. Bu durum, son yıllarda artan taşkın olaylarını açıklayabilmektedir. Yerleşim

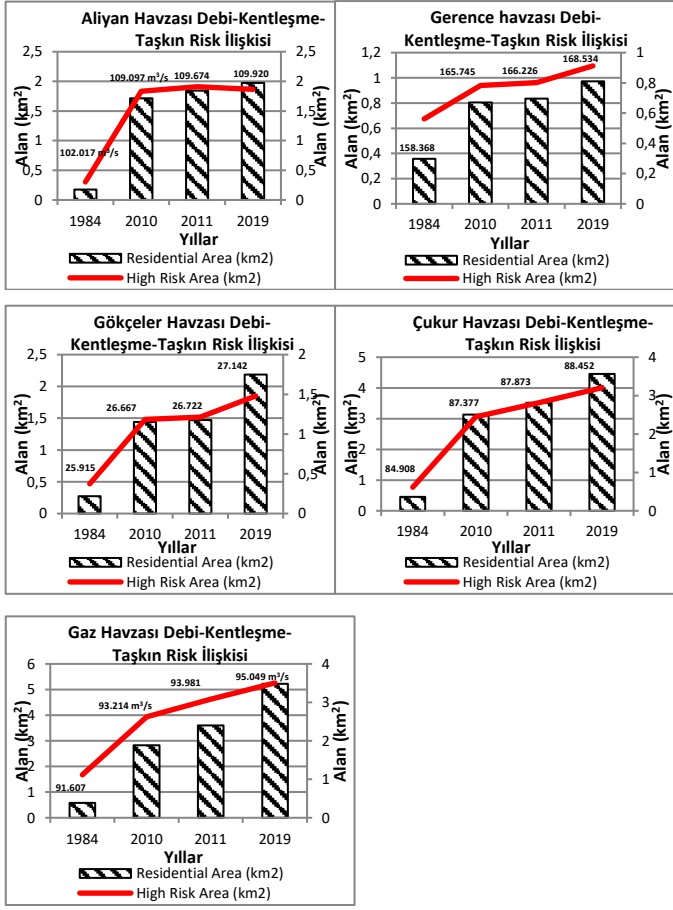
alanlarının miktarı 1984 yılından 2019 yılına kadar artış göstermiştir. Gerence dere havzası dışındaki havzalarda orman ve makilik alanların bir artış içerisinde olduğu gözlenmiştir. Ancak, çıplak arazilerin yerini orman ve yerleşim alanlarının kapladığı açıkça görülmektedir. Burada önemli olan çıplak arazinin yerini yüzde kaç ormanlık alan yüzde kaç yerleşim alanının aldığı tespit edilmesidir. Veriler incelendiğinde tüm havzalarda ortalama olarak çıplak arazi alanlarının %18.79'u yerini ormanlık alana %81.21'i ise yerleşim alanına bırakmıştır. Havzalarda ağaçlandırma çalışmaları olmasına karşın, yerleşim alanlarının çok daha yüksek oranda artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum, incelenen havzalarda yerleşim alanlarının hızla arttığını önümüzdeki yıllarda ormanlık alanlarında da kentleşme tehlikesi altında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Bayazıt vd., 2021).

2.4. Kentleşme, Taşkın Debisi ve Taşkın Riski Arasındaki İlişkiler

Şekil 10'da Aliyan, Gerence, Gökçeler, Çukur ve Gaz havzaları için debi-kentleşme-taşkın riskleri arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Grafikler ayrıntılı olarak incelendiğinde 1984 yılında tüm havzalardaki yerleşim alanları kısıtlıyken ilerleyen yıllarda yerleşim alanlarının arttığı açıkça görülmektedir. Aynı oranda grafiklerde kırmızı çizgiyle gözükken eğride yüksek taşkın riski taşıyan alanlarında arttığı görülmektedir. SCS-CN metoduyla bulunan taşkın büyüklükleri de yıllara göre artış göstermektedir. Bu üç kriter arasındaki doğru orantının kentleşme faktöründen kaynaklandığı açıktır. Kentleşme nedeniyle havzalardaki geçirimsiz alanların artması düşen yağışların büyük oranda doğrudan akışa geçmesini, bu durumun da taşkın debilerini arttırdığı değerlendirilmiştir. Her bir dere havzası kendi içerisinde kentleşme ve oluşturacağı taşkın büyüklüğü açısından değerlendirildiğinde; Aliyan dere havzasında 1984 yılında 0.17 km²'lik bir yerleşim alanı varken 2010 yılında 9.83 kat artışla bu alan 1.72 km²'ye yükselmiştir. SCS-CN metoduna göre yerleşim alanındaki bu büyümenin taşkın büyüklüğüne etkisi %6.94'lük bir artış olarak yansımıştır. 1984 yılında 102.02 m³/s olan taşkın büyüklüğü 2010 yılında 109.10 m³/s olarak hesaplanmıştır. 2011 ve 2019 yıllarında yerleşim alanları büyüme eğilimini devam ettirerek 1.85 km² ve 1.97 km² olarak hesaplanmıştır. Taşkın büyüklüğü 2011 yılında 109.67 m³/s olarak hesaplanırken 2019 yılında 109.92 m³/s olarak bulunmuştur. Aliyan havzasında şehirleşme 1984 yılından 2019 yılına kadar 11.29 kat büyüme göstermiştir. Aliyan deresinin 1984 yılından 2019 yılına kadar taşkın büyüklüğü ise %7.75 oranında artmıştır. Gerence dere havzasında 1984 yılında 0.36 km²'lik bir yerleşim alanı varken 2010 yılında 2.25 kat artışla bu alan 0.81 km²'ye yükselmiştir. SCS-CN metoduna göre yerleşim alanındaki bu büyümenin taşkın büyüklüğüne etkisi %4.68'lik bir artış olarak yansımıştır. 1984 yılında 158.37 m³/s olan taşkın büyüklüğü 2010 yılında 165.75 m³/s olarak hesaplanmıştır. 2011 ve 2019 yıllarında yerleşim alanları büyüme seyrini devam ettirerek 0.83 km² ve 0.97 km² olarak hesaplanmıştır. 2011 yılındaki taşkın büyüklüğü 166.23 m³/s olarak hesaplanırken 2019 yılında 168.53 m³/s olarak bulunmuştur. Gerence havzasında şehirleşme 1984 yılından 2019 yılına kadar 2.72 kat büyüme göstermiştir. Gerence deresinin 1984 yılından 2019 yılına kadar taşkın büyüklüğü ise %6.42 oranında artmıştır. Gökçeler dere havzasında, 1984 yılında 0.27 km²'lik bir yerleşim alanı varken 2010 yılında 5.29 kat artışla bu alan 1.44 km²'ye yükselmiştir. SCS-CN metoduna göre yerleşim alanındaki bu

büyümenin taşkın büyüklüğüne etkisi %2.90'lık bir artış olarak yansımıştır. 1984 yılında 25.92 m³/s olan taşkın büyüklüğü 2010 yılında 26.67 m³/s olarak hesaplanmıştır. 2011 ve 2019 yıllarında yerleşim alanları büyüme seyrini devam ettirerek 1.47 km² ve 2.18 km² olarak hesaplanmıştır. 2011 yılındaki taşkın büyüklüğü 26.72 m³/s olarak hesaplanırken 2019 yılında 27.14 m³/s olarak bulunmuştur. Gökçeler havzasında şehirleşme 1984 yılından 2019 yılına kadar 8.01 kat büyüme göstermiştir. Gökçeler deresinin 1984 yılından 2019 yılına kadar taşkın büyüklüğü ise % 4.74 oranında artmıştır. Çukur dere havzasında 1984 yılında 0.45 km²'lik bir yerleşim alanı varken 2010 yılında 6.93 kat artışla bu alan 3.12 km²'ye yükselmiştir. SCS-CN metoduna göre yerleşim alanındaki bu büyümenin taşkın büyüklüğüne etkisi %2.91'lik bir artış olarak yansımıştır. 1984 yılında 84.91 m³/s olan taşkın büyüklüğü 2010 yılında 87.38 m³/s olarak hesaplanmıştır. 2011 ve 2019 yıllarında yerleşim alanları büyüme seyrini devam ettirerek 3.51 km² ve 4.46 km² olarak hesaplanmıştır. 2011 yılındaki taşkın büyüklüğü 87.87 m³/s olarak hesaplanırken 2019 yılında 88.45 m³/s olarak bulunmuştur. Çukur dere havzasında şehirleşme 1984 yılından 2019 yılına kadar 9.87 kat büyüme göstermiştir. Çukur deresinin 1984 yılından 2019 yılına kadar taşkın büyüklüğü ise %4.17 oranında artmıştır. Gaz dere havzasında 1984 yılında 0.58 km²'lik bir yerleşim alanı varken 2010 yılında 4.89 kat artışla bu alan 2.83 km²'ye yükselmiştir. SCS-CN metoduna göre yerleşim alanındaki bu büyümenin taşkın büyüklüğüne etkisi %1.75'lik bir artış olarak yansımıştır. 1984 yılında 91.61 m³/s olan taşkın büyüklüğü 2010 yılında 93.21 m³/s olarak hesaplanmıştır. 2011 ve 2019 yıllarında yerleşim alanları büyüme seyrini devam ettirerek 3.60 km² ve 5.22 km² olarak hesaplanmıştır. 2011 yılındaki taşkın büyüklüğü 93.98 m³/s olarak hesaplanırken 2019 yılında 95.05 m³/s olarak bulunmuştur. Gaz havzasında şehirleşme 1984 yılından 2019 yılına kadar 9.04 kat büyüme göstermiştir. Gaz deresinin 1984 yılından 2019 yılına kadar taşkın büyüklüğü ise %3.76 oranında artmıştır (Bayazıt vd., 2021).

Tüm bu veriler değerlendirildiğinde 1984-2019 yılları arasında şehirleşme açısından en fazla büyüme 11.29 kat artış ile Aliyan dere havzasında görülmüştür. Aliyan havzasının ardından sırasıyla şehirleşmedeki artış olarak Çukur, Gaz, Gökçeler ve Gerence havzaları gelmektedir. Taşkın büyüklüklerindeki artış olarak 1984-2019 yılları arasında %7.75'lik artışla yine Aliyan havzasında görülmüştür. Ardından sırasıyla Gerence, Gökçeler, Çukur ve Gaz havzaları gelmektedir. Şekil 10'da kırmızı çizgiyle görülen taşkın risk alanlarındaki değişimler incelendiğinde 1984-2019 yılları arasında Aliyan havzasında yüksek taşkın riski taşıyan alanların 6.15 kat büyüdüğü görülürken, Gerence havzasında 1.63 kat, Gökçeler havzasında 3.96 kat, Çukur havzasında 5.24 kat, Gaz havzasında ise 3.14 kat büyüdüğü görülmüştür. Tüm bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde incelenen beş havza içerisinde Aliyan deresi yıllar içerisinde taşkın oluşturma riskinin en fazla büyüme gösterdiği dere olarak dikkat çekmiştir. Aliyan deresinin ardından riskli havzalar olarak Çukur, Gökçeler ve Gaz havzaları gelmektedir (Bayazıt vd., 2021).

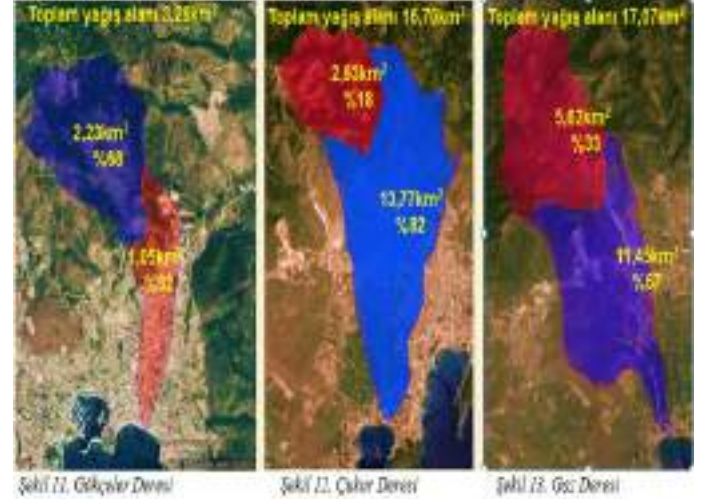


Şekil 10. Havzaların incelenen yıllara göre Debi-Kentleşme-Taşkın Riski arasındaki ilişkiler (Bayazıt vd., 2021)

3. Taşkınların Önlenmesi için Alınması Gereken Önlemler

Taşkın yaratan derelerin yukarı havzalarından gelebilecek taşkın sularını depolamak ve mansaba güvenli bir akışı iletmek amacıyla Gökçeler, Çukur ve Gaz dereleri üzerine “sel kapanı” yapısının inşa edilmesi önerilmektedir. Sel kapanı, taşkın sularını rezervuarda geçici olarak depolayarak, belirli bir zamanda oluşan taşkın akımını daha uzun bir zamana yayarak öteleyen ve bu sayede mansaptaki emniyetli yatak kapasitesi kadar çıkış debisi sağlayan alçak barajlardır. Bu derelerin memba güzergahlarında topoğrafik açıdan bu yapıların inşa edilebileceği alanlar bulunmaktadır. Bu derelerin mansabında yoğun yerleşim alanları yer aldığı için bu yapıların gerekli rezervuarları beş yüz yıllık debiye (Q_{500}) göre belirlenmelidir. Ancak, bu derelerin güzergahlarında yer alan depolama alanları kısmen doğal sit, Arkeolojik sit alanında ve orman tahdit sınırları içerisinde kaldığı için projelerin hazırlanmasından hemen sonra ve yapım öncesinde ilgili kurumlardan gerekli izinler alınmalıdır. Yapılan incelemelerde bölgedeki parsellerin maliye hazinesi adına tescilli olduğu görüldüğünden kamulaştırma maliyetinin olmayacağı düşünülmektedir. İnşa edilmesi düşünülen sel kapanları (kısmen depolama yapıları) membadan gelen aşırı akımların bir kısmını yerleşim yerlerine ulaşmadan tutmayı ve mansaba ulaşabilecek akımları geciktirmeyi ve kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Bu yapılara inşa edildiği havzadan sediment taşınımı olmaz ise depolanan sular yazın su sıkıntısı çekilen Bodrum yarımadası mevcut su kaynaklarına ek bir kaynak da oluşturabilecektir. Ancak, sediment taşınımı nedeniyle bu yapılar kısa sürede dolar ise

gelen taşkın sularını depolama ve akışı geciktirme özelliği azalabilir. Bu nedenle, bu yapıların inşası ile birlikte yukarı havzada erozyon önleyici ağaçlandırma ve doğal vejetasyon çalışmaları yapılmalıdır. Şekil 11, 12 ve 13’de sel kapanı inşa edilme olanağına sahip Gökçeler, Çukur ve Gaz derelerine ilişkin toplam yağış alanları, memba ve mansap yağış alanları verilmektedir (DSİ, 2019).



Bodrum yarımadasında yer alan Gökçeler deresinin toplam yağış alanı 3.28 km² dir. Gökçeler deresinde yukarı havza (membra) çalışmaları yapılması kapsamında inşa edilecek sel kapanı dere su toplama havzasının 2.23 km²’lik alanına (%68) düşen yağış sularını tutulabilecektir. Havzada kentsel yapılaşmanın yoğun olduğu 1.05 km²’lik alana (%32) düşen yağış için mansap önlemlerinin alınması gerekmektedir. Yarımada için taşkın yaratma riski en yüksek olan Gökçeler deresinin membasında inşa edilecek sel kapanı oluşabilecek taşkın azaltılması ve ortadan kaldırılmasına önemli katkı verecektir. Ayrıca, derenin membasında yer alan çıplak alanlarda uygulanacak erozyon önleme çalışmaları inşa edilecek sel kapanının ekonomik ömrünü uzatacak ve sel kapanında daha temiz ve kullanılabilir bir su kaynağının depolanmasına olanak sağlayacaktır. Çukur deresinin toplam yağış havzası 16.70 km² dir. Çukur deresinde yukarı havza çalışmalarının yürütülmesi durumunda 2.93 km²’lik alana (%18) düşecek yağış suyunu tutulabilecek ve 13.77 km²’lik alana (%82) düşen yağış suyu için mansap önlemlerinin alınması gerekmektedir. Çukur deresi yağış havzasının %82’lik kısmı yapılaşmanın olduğu kentsel alanlar içerisinde kalmaktadır. Gaz deresinin 17.07 km²’lik toplam yağış alanına sahiptir. Gaz deresinde yukarı havza çalışmalarının olması durumunda %33’lük yağış alanına düşen suyu tutulabilecek ve %67’lik yağış alanı için mansap önlemlerinin alınması gerekecektir. Gaz deresi yağış alanının 11.45 km²’lik kısmı kentsel yerleşim alanı içerisinde yer almaktadır. Bu bağlamda, Çukur deresi ve Gaz deresi üzerine inşa edilecek sel kapanları derelerin membalarına düşen yağışları tutacak ve oluşabilecek taşkınların ötelenmesini sağlayacaktır.

Gökçeler, Gerence, Aliyan, Çukur ve Gaz dereleri yağış toplama havzalarının büyük bir bölümü kentsel yerleşim alanlarının yer aldığı mansapta yer almaktadır. Yukarı havza çalışmaları tamamlandığında göz önüne alınacak yağış alanının tamamının yerleşim içerisinde kalması nedeniyle taşkın debi hesaplarının Yağmur Suyu Drenaj Hattı proje kriterlerine göre yapılması gerekmektedir. Yapılacak çalışmalar ile memba önlemleri alındıktan sonra kentsel alanda oluşabilecek yeni

taşkın debisi hesaplanmalı ve bu debiyi temel alan tip kesitler belirlenmelidir. Hesaplanan bu debi ve kesitlere göre mevcut dere yataklarının kullanılabilme olanakları araştırılmalı ve mevcut taşkın-drenaj tesislerine yapılan müdahaleler ortadan kaldırılmalıdır. Ayrıca, tüm dere güzergahları için gerekli kamulaştırma planları hazırlanmalı ve finansal kaynaklar ayrılmalıdır. Bodrum ilçe merkezinde yer alan ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından ıslah projeleri hazırlanarak 2010/5 sayılı "Akarsu ve Dere Yataklarının Islahı" konulu Başbakanlık Genelgesi'nin 9. Maddesi "DSİ tarafından yapılacak akarsu ve dere yatağı ıslahlarının projesine göre yapılabilmesi için; bu alanlardan belediye ve mücavir alan sınırları içinde bulunanlar, ilgili belediyelerce DSİ'ye ihtilafsız olarak teslim edilecek, bu alanların dışında kalan yerlerin ise DSİ'ye tesliminin sağlanması hususunda gerekli çalışmalar valilerin koordinasyonunda yürütülecektir." maddesi gereği ıslah edilecek dere güzergahlarının Muğla Büyükşehir Belediyesi tarafından DSİ'ye sorunsuz yer tesliminin yapılması gerekmektedir.

Kentsel yerleşim alanlarında taşkın debisini azaltmak amacıyla binaların çatılarından, beton ve asfalt yüzeyli alanlardan gelen yağış sularını yeraltı taşkın suyu depolama, akışı geciktirme, havza içinde depolama ve infiltrason önlemleri ve yeraltı taşkın tünelleri inşa ederek azaltma olanakları araştırılmalıdır. Ayrıca, kentsel yerleşimde yer alan beton alanlar ve çatı yüzelerinde oluşabilecek akış oranının (F) 0.9 olduğu dikkate alınır, 1 hektarlık beton kaplı alanlar için 480 m³ den daha fazla yağış suyunu depolayabilecek taşkın suyu düzenleme göletleri kent içerisinde uygun alanlara inşa edilmelidir (Baba, 2018). Bu nedenle, Bodrum merkezinde tesis edilecek taşkın düzenleme göletleri taşkın zamanında taşkın depolama amacıyla, diğer zamanlarda ise spor ve park-rekreasyon alanları olarak kullanılacak şekilde planlanmalıdır. Ayrıca, kentsel alanda inşa edilecek binaların su basmanlarının yüksek tutulması taşkından etkilenmeyi azaltacaktır. Beton ve asfalt alanlar arttıkça inşa edilecek drenaj ve taşkın tesisleri kısa sürede oluşan pik debileri zarar vermeden boşaltacak şekilde planlanmalıdır. Kent içerisinde yer alan tüm drenaj ve taşkın tesislerinin her yıl gerekli bakım-onarım çalışmaları yapılmalı ve kurulan ekipler tarafından tüm boşaltım tesisleri izlenmelidir.

4. Araştırma Sonuçları ve Öneriler

Bu çalışma, ülkemizin önemli bir turizm bölgesi olan Bodrum yarımadasının kentsel alanlarında taşkın oluşturan dereler, taşkına maruz kalan alanlar, kentsel büyüme, taşkınları önleme ve yönetme arasındaki ilişkileri incelemeyi amaçlamaktadır. Yerleşim alanları 1985 yılında 1510.94 ha'lık alan ile yarımada'nın sadece %2.35'lik kısmını kaplarken, 2020 yılına gelindiğinde 8830.88. ha'lık alana ulaşarak %13.71'lik bir alanı kapladığı görülmüştür. Bodrum kent merkezinde meydana gelen taşkınlar Gökçeler, Gerence, Aliyan, Çukur ve Gaz derelerinden kaynaklanmaktadır. İncelenen beş havza içerisinde taşkın riskinin en fazla olduğu havzalar Aliyan deresi ile kentsel büyümenin en fazla olduğu Gökçeler, Çukur ve Gaz dereleridir. Dereler kent merkezinde kalmış olup her bir derenin etrafında yoğun yerleşim alanları bulunmaktadır. Kent merkezinde oluşan taşkınların nedenleri, derelerin mansap noktalarının kent içerisinde yer alması, pik taşkın debilerini iletebilecek kesitte dere yataklarının olmaması, mevcut taşkın tesislerine yapılan çeşitli müdahaleler ve plansız kentsel büyüme olarak sıralanabilir. Kent merkezinin genelinde şehrin

beton, taş ve asfalt yüzeyler ile kaplı olması nedeniyle yağış suları hemen yüzeysel akışa geçerek ani taşkınlara neden olmaktadır. Ayrıca, kent merkezindeki dere yataklarının tamamı imara açılarak cadde, yol, otopark, kaldırım ve bina yapılarak işgal edilmiş olduğundan yüzeysel yağmur sularının tahliyesi için drenaj altyapısı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, yoğun yağışlarda özellikle kent merkezi sürekli taşkın riski altındadır.

İncelenen yıllarda kentsel büyümede önemli bir artışın olması taşkından etkilenebilecek alanların artmasına neden olmaktadır. Kentsel gelişmenin büyüklüğü ve büyümenin yönü taşkın riskinin artmasına veya azalmasına neden olmaktadır. Yağış eğilimindeki değişimler kentsel bölgelerde taşkından etkilenebilecek alanları azaltan yada artıran tek faktör değildir. İncelenen beş havzada yağışlar ile taşkına karşı korumasız olan alanlar arasında net bir ilişki bulunmamaktadır. Ancak, taşkına eğilimli alanlar, yağış yoğunluğu ve sıklığındaki farklılıktan ve kentsel büyümenin boyutundan önemli ölçüde etkilenmektedir. Kentsel büyüme ve büyümenin taşkın tehlikesi olan alanlara yönelmesi taşkın riskine hassas alanların artmasına neden olacağı için yerel ve ulusal düzeydeki karar vericiler kalıcı çözümler üretmelidir. Kentsel alan içerisinde inşa edilecek yeni bir yol yada diğer altyapı hizmetlerinin taşkın tehlikesi olan alanlardan uzakta yapılması hem planlı hem de planlanmamış kentsel büyüme için riskli alanlardan kaçınmaya yardımcı olacaktır. Bu durum, özellikle ani taşkın riski olan bölgelerde yaşayanlar için risk azaltmanın önemli bir adımı olabilecektir. Ayrıca, doğal ve inşa edilmiş ortamlar arasında daha somut bir ilişki kurularak nüfusun yaşam kalitesini artırarak taşkınların etkisini azaltmak için entegre kentsel planlama yaklaşımına sahip olunmalıdır. Planlamacılar, mühendisler, yerel yöneticiler ve politikacılar kentsel büyüme için uygun alanların seçimi için taşkın tehlikesi olan alanları gösteren haritaları kullanabilirler. Kentsel taşkın tehlike haritaları, taşkın tehlike bölgeleri ile taşkınların mekansal dağılımı arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Yağmur suyu akış altyapısına ihtiyaç duyulan alanların tanımlanması ve sürdürülebilir kentsel kalkınmaya ilişkin politika ve stratejiler için taşkın tehlike haritaları yetkililer tarafından dikkate alınmalıdır. Koç & Bozkurt (2013), havzada doğru yağış-akış tahmini ve zamanında yapılan erken uyarıların can ve mal kaybını önlemedeki önemi havzada daha yaygın bir gözlem ağı ve erken uyarı sistemi kurulmasını zorunlu kılmaktadır.

Kaynakça

- Abas, A.A., & Hashim, M. (2014). Change detection of runoff-urban growth relationship in urbanised watershed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 18, 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8) 26–29 August 2013, Kuching, Sarawak, Malaysia, 1-7 p.
- Ahmad, T., Pandey, A.C., & Kumar, A. (2019). Evaluating urban growth and its implication on flood hazard and vulnerability in srinagar city, kashmir valley, using geoinformatics. Arab. J. Geosci. 12 (9), 1-20
- Baba, H. (2018). Comprehensive Risk Management of Urban Flood-Flood Damage Control Law for Specified Urban River Basins. JICA (Japan International Cooperation Agency), presentation, 37p.

- Bayazit, Y., Koç, C., & Bakış, R. (2021). Urbanization impacts on flash urban floods in Bodrum Province, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 66, No. 1, 118–133
- Buurman, J., & Babovic, V. (2016). Adaptation pathways and real options analysis: An approach to deep uncertainty in climate change adaptation policies. *Policy Soc.* 35, 137–150.
- Chen, S.Y., Xue, Z.C., Li, M., & Zhu, X.P. (2013). Variable sets method for urban flood vulnerability assessment. *Sci. China Technol.* 56, 3129–3136.
- Chikwue, M.I. (2019). Computation of peak Flow discharge using global Mapper 15.0 to design open channel. *Conference Book of proceedings. The Dynamics of Environmental Change: Impact of Engineering.*
- Clark, M., & Aide, M. (2011). Virtual Interpretation of Earth Web-Interface Tool (VIEW-IT) for Collecting Land-Use/Land-Cover Reference Data. *MDPI Remote Sensing*, 3(3), 601–620
- Devi, N.N., Sridharan, B., & Kuiry, S.N. (2019). Impact of urban sprawl on future flooding in chennai city, india. *J.Hydrol.* 574, 486–496
- DSI (Devlet Su İşleri). (2019). Bodrum İlçe Merkezi Dereleri. Tarım ve Orman Bakanlığı. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. XXI. Bölge Müdürlüğü. Bodrum İlçe Merkezi Dereleri Sunumu, 10 Ocak 2019, Aydın.
- Gu, D. (2019). Exposure and vulnerability to natural disasters for world's cities. United Nations: Department of Economic and Social Affairs. Population Division. Technical Paper, December, 125 p.
- Gündoğdu, K.S., Değirmenci, H. & Demirtaş, Ç. (2002). Creation of GIS Supported Database in Irrigation Project Management. *AGROENVIRON*, 26-29 October, Cairo, Egypt. 1-6p.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R.J., & Corfee-Morlot, J. (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nat. Clim. Chang.* 3, 802–806.
- Hansen, R., & Pauleit, S. (2014). From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio.* 43, 516–529.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change, *Nature Climate Change*, volume 3, 816–821
- Jacobson, C.R. (2011). Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *J. Environ. Manag.* 92, 1438–1448.
- Jha, Abhas K., Robin Bloch, & Jessica Lamond. (2012). *Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century.* Washington, DC: World Bank and Global Facility for Disaster Reduction and Recovery.
- Koç, C., Bakış, R., & Bayazit, Y. (2017). A study on assessing the domestic water resources, demands and its quality in holiday region of Bodrum Peninsula, Turkey. *Tourism Management*, Volume 62, 10-19
- Koç, C., & Bozkurt, H (2013). Büyük Menderes Havzasında Taşkınların Entegre Havza Yönetimiyle Kontrol Edilmesi Üzerine bir Çalışma [A Study on the Control of Floods in Büyük Menderes Basin by Integrated Watershed Management]. 3. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 29-30 Nisan 2013, Tebliğler kitabı, 95-102s. Haliç Kongre Merkezi. İstanbul.
- Koç, C., Kosif, K., Kızıltepe, S., & Özdemir, K (2010). Büyük Menderes ve Batı Akdeniz Havzalarında İşletmede olan Taşkın Tesislerine Yapılan Müdahaleler Üzerine Bir Çalışma [A Study on Interventions on Flood Facilities Operated in Büyük Menderes and West Mediterranean Basins]". II. Ulusal Taşkın Sempozyumu 22–24 Mart, Afyonkarahisar, 71–79p.
- Koç, C., Bayazit, Y., & Bakış, R. (2020). A study on assessing the urban growth, population, and water resources of Bodrum Peninsula, Turkey. *Environ Monit Assess.* 192:631, 2-12.
- Kuang, W.H., Chen, L.J., Liu, J.Y., Xiang, W.N., Chi, W.F., Lu, D.S., Yang, T.R., Pan, T., & Liu, A.L. (2016). Remote sensing-based artificial surface cover classification in Asia and spatial pattern analysis. *Sci. China Earth Sci.* 59, 1720–1737.
- Liao, K.H. (2012). A theory on urban resilience to floods-A basis for alternative planning practices. *Ecol. Soc.*17, 134–145.
- Liu, Y.Z., Bralts, V.F., & Engel, B.A. (2015). Evaluating the effectiveness of management practices on hydrology and water quality at watershed scale with a rainfall-runoff model. *Sci. Total Environ.* 511, 298–308.
- Lockaby, G., Nagy, C., & Vose, J.M., (2011). Water and forests. In: Wear, D.N., Greis, J.G. (Eds.), *Southern Forest Futures Project*, Chapter 13. 85 p.
- Miller, J.D., & Hutchins, M. (2017). The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 12, 345–362.
- O'Driscoll, M., Clinton, S., & Jefferson, A. (2010). Urbanization effects on watershed hydrology and in-stream processes in the Southern United States. *Water* 2, 605–648.
- P. Pettersson, M., Priest, S., & Suykens, C. (2018). Governance Strategies for Improving Flood Resilience in the Face of Climate Change. *Water*, 10 (11), 1595.
- Pathirana, A., Deneke, H.B., Veerbeek, W., Zevenbergen, C., & Banda, A.T. (2014). Impact of urban growth-driven landuse change on microclimate and extreme precipitation-A sensitivity study. *Atmos. Res.* 138, 59–72
- Salimi, E.T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M., & Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy and Water Environment.* 15 (1):123-13.
- Sanyal, J., & Lu, X. (2004). Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon asia: A review. *Nat. Hazards*, 33, 283–301.
- Satheeshkumar, S., Venkateswaran, S., & Kannan, R. (2017). Rainfall-runoff estimation using SCS-CN and GIS approach in the Pappirepatti watershed of the Vaniyar sub basin, South India. *Model. Earth Syst. Environ.* 3(24):1-8.
- Scholz, M. (2004). Case study: Design, operation, maintenance and water quality management of sustainable storm water ponds for roof runoff I; *Bioresource Technology*, 95, 269–279.
- Sörensen, J., & Mobini, S. (2017). Pluvial, urban flood mechanisms and characteristics—assessment based on insurance claims. *J. Hydrol.* 555, 51–67
- Sudhakar B.S., Anupam, K.S., & Akshay, O.J. (2015). Snyder Unit Hydrograph and GIS for Estimation of Flood for Ungauged Catchments in Lower Tapi Basin, India. *Hydrol Current Res* 6: 195-206

- UNISDR. (1998–2017). *Economic Losses, Poverty & Disasters*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters & UN Office for Disaster Risk Reduction: Geneva, Switzerland, 2017.
- UN (United Nations). (2018) *Revision of World Urbanization Prospects*. New York, NY, USA, 2018.
- Wahl, T., Jain, S., Bender, J., Meyers, S.D., & Luther, M.E. (2015). Increasing risk of compound flooding from storm surge and rainfall for major US cities. *Nat. Clim. Chang.* 5, 1093–1097.
- Walega, A., Amatyab, D. M., Caldwell, P., Mariond, D., & Pandae, S. (2020). Assessment of storm direct runoff and peak flow rates using improved SCS-CN models for selected forested watersheds in the Southeastern United States. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27 100645. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100645>
- Walsh, C.J., Booth, D.B., Burns, M.J., & vd. (2016). Principles for urban stormwater management to protect stream ecosystems. *Freshw. Sci.* 35 (1), 398-411
- Zhou, Q., Leng, G., Su, J., & Ren, Y (2019). Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *Sci. Total Environ.* 25;658:24-33



Alternatif Bir Bitki: Selluka (*Vigna caracalla* L. Verdc.)

Betül Kuş^{1*}, Hakan Geren²

^{1*} Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2319-6128), betulkuss.95@gmail.com

² Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0426-1120), hakan.geren@ege.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.890604)

ATIF/REFERENCE: Kuş, B. & Geren, H. (2021). Alternatif Bir Bitki: Selluka (*Vigna caracalla* L. Verdc.). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 217-221.

Öz

Bu makalede, selluka (*Vigna caracalla*) olarak bilinen bitkinin İzmir ekolojik koşullarındaki gözlemlerine ve ölçümlerine ilişkin ilk bulgular irdelenmiş ve tartışılmıştır. Ülkemizde ve yöremizde hakkında incelemeye dayalı başlıca bir yerli yayına rastlanılmayan bu baklagil bitkisi, botanik ve tarımsal özellikleri yanında ekolojik istekleri açısından da Akdeniz iklim kuşağına tam bir uyum göstermektedir. Görece hızlı gelişen sürgünleri, çok hoş kokulu ve güzel görümlü çiçekleri ile iyi bir süs ve parfüm bitkisi özelliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Selluka, *Vigna caracalla*, Hormon, Çelik, Tohum.

An Alternative Crop: Snail Flower (*Vigna caracalla* L. Verdc.)

Abstract

In this article, preliminary results of the observations and the figures obtained from snail flower (*Vigna caracalla*) plants grown under the ecological conditions in Izmir were discussed. The leguminous crop which have been investigated most probably for the first time in our country and region, and about which there is not any research based local publication showed very high adaptability to the Mediterranean climatic conditions. It is an ornamental and perfume plant with relatively fast growing shoots, very fragrant and beautiful appearance flowers.

Keywords: Snail flower, *Vigna caracalla*, Hormone, Sett, Seed.

* Sorumlu Yazar: betulkuss.95@gmail.com

1. Giriş

Bilimsel adı *Vigna caracalla* olan bu güzel bitki ülkemizde ve dünyada pek çok değişik isimle anılmaktadır. Ülkemizde yaygın bir şekilde “Selluka” olarak isimlendirilen bitki, “Zülf-ü aruz”, “İzmir Sarmaşığı” veya “Salyangoz Çiçeği” olarak da adlandırılmaktadır.

Selluka bitkisi her ne kadar ülkemizde çok fazla bilinmese de, eski İzmir’lilerin çok iyi bildiği ve bahçelerinde yetiştirdiği bir türdür. Fakat ne yazık ki şehirlerdeki yapılaşma şekilleri değiştikçe bu güzel bitki de zamanla yok olmaya yüz tutmuştur. Bitkiye verilen selluka adı Rumca’dan gelmektedir.

Bu çalışmada; selluka bitkisinin tohum ve sap çeliklerinden çoğaltılması, bazı tarımsal özellikleri ile yetiştiriciliği hakkında temel bilgilerin kazandırılması ve farkındalığın artırılması amaçlanmıştır.

Bitkinin Sistematikteki Yeri: Bitkinin ana vatanı Güney Amerika kıtası (Caracas/Venezuela), sinonimleri “*Phaseolus caracalla*” veya “*Cochlianthus caracalla*” olarak bildirilmiştir (Delgado-Salinas ve ark., 2011). Selluka bitkisi Baklagiller (*Fabaceae/Leguminosae*) familyasının bir üyesi olup, İngilizce adı “Snail flower” veya “Corkscrew vine”dir. Bitkinin temel kromozom sayısı $2n=2x=22$ ’dir.



a



b



c

Şekil 1. Sellukanın Kökü (a), Kök Yumruları (b), Odunlaşmış Sapı (c) (Orijinal)

Yaprakları tipik fasulye veya börülce yaprağı gibi üçlü bileşik yapraklıdır (Şekil 2a). Yaprak yüzeyi parlak değil mattır. Yaprak koltuklarından çıkan çiçekleri, tipik baklagil çiçeği yapısında olup, iri ve dalgalı-burgulu (salyangoz gibi) bir yapıdadır. Yeni açan çiçekleri beyaz-krem (Şekil 2b) renkte olup, ilerleyen zamanlarda renginde değişimler meydana gelmektedir (Şekil 2c) ve bu esnada ortama harikulade bir koku yaymaktadırlar. Bu koku 6-7 metre uzaktan da hissedilmektedir.

Erkek ve dişi organların kıvrık yapıları (Şekil 3a) tozlaşmayı zorlaştırdığından bazı böceklerin (karınca, bambul arısı, vb.) yardımına ihtiyaç duymaktadır. Selluka yüksek oranda kendine döllen (autogam) bir bitkidir (Etcheverry ve ark., 2008). Döllenmesini tamamlayan çiçek börülceye benzeyen bir meyve (Şekil 3b) oluşturmaktadır. Meyve boyu 25 cm kadar uzayabilmekte ve meyvenin içinde sayıları 17’ye varan tohumları (Şekil 3c) bulunmaktadır.

Bitkinin Önemi ve Kullanım Alanları: Selluka, ülkemizin Akdeniz iklim koşullarının egemen olduğu yörelerine uyum sağlamış, sarılıcı bir bitkidir. Özünde bir yem bitkisi ve yemeklik tane baklagil olan bu bitkinin çiçeklerinin şekli, kokusu ve renk armonisi büyüleyici bir özelliktedir. Bu özellikleri nedeniyle günümüzde süs bitkisi özelliği ile anılmakta ve kullanılmaktadır. Sarılıcı ve tırmanıcı olarak pergolalar, kamelyalar, balkonlar ve separatörlerde kullanılmaktadır. Teraslar ve kış bahçeleri için de hoş kokulu süs bitkisidir. Yoğun kokulu çiçekleri; limon çiçeği, vanilya, yasemin ve ful çiçeklerinin kokularının oluşturduğu bir karışım gibi kokmaktadır. Başta kelebekler olmak üzere karıncaları da cezbeder (Etcheverry ve ark., 2008).

Taze meyveleri ve kuru taneleri insan gıdası olarak (börülce salatası ve yemeği gibi), topraküstü aksamı da hayvan yemi olarak kullanıldığı, insan ve hayvan sağlığını tehdit edici bir unsur barındırmadığı bazı araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır (Altschul, 1973; Mikić, 2018).

Bitkinin Morfolojik Özellikleri: Çok yıllık bir bitki olan sellukanın kökü, kısa kazık kök (Şekil 1a) yapısına sahip olup bazı köklerinde yumrular (Şekil 1b) (yer elması gibi) bulunmaktadır. Tırmanıcı bir özelliğe sahip bitki sapı, 6-10 metreye kadar uzayabilmektedir. Bir kış mevsimi atlatan sap, ikinci yıldan itibaren odunlaşmaya başlamaktadır (Şekil 1c).

Tohum; parlak koyu renkli, üzeri desenli ve hafif basıktır (disk şeklinde) (Şekil 4a). Tohumlarında sert kabukluluk sorunu bulunmaktadır. Tohumlarının 1000-tane ağırlığı 60-80 gram arasındadır. Çimlenen tohumları *hypogeal* tip fide (Şekil 4b) oluşturmaktadır (Ojeda ve ark., 2013). Yaptığımız ön çalışma sonucunda selluka tohumlarının bin tane ağırlığı 84 gram olarak saptanmıştır.

Bitkinin İklim ve Toprak İstekleri: Selluka sıcak iklim (C4) bitkisidir. Tohumlarının çimlenmesi için en az 15°C sıcaklığa gereksinim göstermektedir. 22°C’lik sıcaklıkta 10-20 gün arasında çimlenir. Bitkinin büyüme ve gelişmesi için tam güneş ve yüksek nem gerekmektedir. Selluka kısa gün bitkisidir. Yani çiçeklenmenin başlaması Kuzey enlemlerde 21 Haziran’dan sonra meydana gelmektedir. Kış mevsiminde bitkinin topraküstü aksamı dondan zarar görebilmektedir. Akdeniz iklimi görülen bölgelerde bir yıllık fideler kış mevsimi başlamadan seraya alınmalı, ilkbahar mevsiminin başlaması ve bitkinin uyanmasına

paralel olarak tekrar dışarı çıkarılmalı ve toprağa dikilmelidir. İkinci yıldan itibaren odunlaşan gövde sayesinde kış mevsiminde dışarıda kalabilmektedir (Anonym, 2021c).

bildirilmektedir. Sellukanın yetişebileceği toprak pH aralığı 6.1-7.8 arasında olduğu ifade edilmektedir (Verdcourt, 1970).

Bitkinin toprak seçiciliği bulunmamakla birlikte derin, organik maddece zengin topraklarda daha gümrah yetiştiği



a



b



c

Şekil 2. Bitkinin Yaprakları (a) ve Çiçeğinden Genel Görünümler (b, c) (Orijinal)



a



b



c

Şekil 3: Selluka Çiçeğinin Dişi Organı (a), Taze meyvesi (b) ve Kuru Baklası ile Tohumları (c) (Orijinal)



a



b

Şekil 4: Selluka Tohumları (a) ile Fidesi (b) (Orijinal)

2. Selluka Yetiştiriciliği

Üretim Şekli: Selluka hem tohumla, hem çelikle ve hem de yumrularıyla üretilebilen bir bitkidir. Ancak, çok yaygın bir tarla yetiştiriciliği bulunmaması nedeniyle büyük miktarlarda tohum üretimi söz konusu değildir. Günümüzde pek çok internet kökenli tohum satıcıları az miktardaki tohuma yüksek ücret istediklerinden, bitkinin üretimi vejetatif yollara kaymaktadır. Aynı zamanda tohumların çimlenme gücünün ne olduğu bilinmemesi, amatör yetiştiricilikte yapılan bazı tarımsal hatalar sağlıklı fide gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Buna karşılık vejetatif üretim şeklindeki satışlar da oldukça yüksek meblağ olabilmektedir.

Selluka tohumundan bitki üretimi amacına yönelik ilk ön çalışmamızda; 60 adet tohum multipodlara ekilmiş ve sonuçta %53'ünden sağlıklı fide üretilmiştir. İkinci çalışmada ise 7 aylık selluka anaç bitkisinden yaklaşık 15 cm'lik ve üzerinde bir yaprak bulunan 300 adet çelik (çap: 2-4 mm) alınmıştır. Bu çeliklerden 150'si kontrol (hiçbir uygulama yapılmadan), diğer 150'si ise 4000 ppm'lik IBA hormonuna 10 saniye daldırıldıktan sonra torfa dikilmiştir. Kontrol uygulamasında köklenip fide oluşturan bitki oranı %5.3 iken, hormon uygulamasından sonra bu oran %94.6'ya yükselmiştir. Bu basit çalışma, selluka çeliklerinden yeni fide elde etmekte hormon uygulamasının ne kadar olumlu bir sonuç verdiğini göstermektedir. Güngör ve ark. (2020) selluka bitkisinin hiperhidrisite (su kaybı) problemine sahip bazı klonların aklimatizasyonu sonrasında, bu problemin elimine edildiği gözlemlenmişler ve *in vitro* koşullarda elde edilen köklü sürgün başarısının %70 olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Emek (2018) *Micromeria dolichodontha* bitkisinin çoğaltımında en yüksek kök oluşumu için (%75) 0.5 mg L⁻¹ IBA içeren ½ MS ortamını önermiştir.

Çeşit Seçimi: Günümüzde internet kökenli satıcılar veya süs bitkisi tohum satıcılarından bitkinin tohumuna kolaylıkla ulaşılabilesine karşılık, belirli bir çeşidinin olmadığı gözlenmiştir. Günümüzde kısıtlı sayıda da olsa yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde, bitkisel materyalin bu satıcılardan veya doğal popülasyonlardan temin edildiği bildirilmektedir (Etcheverry ve Vogel, 2018).

Ekim Zamanı: Selluka tohumları çimlenebilmek için en az 15°C sıcaklığa gereksinim gösterdiğinden, tohum ekimleri havaların ısınmasına paralel olarak Nisan ayı başından itibaren yapılabilir. Ancak, sera koşullarında multipodlara ekim yapılacaksa daha erken de ekilebilir. Bitki tropik kökenli olması nedeniyle, bu bölgelerin dışındaki yerlerde sonbaharın ilk donlarından olumsuz etkilenmekte olup, yavaş yavaş ölüme sürüklenmekte ve kış mevsiminin şiddetine göre bazen tamamen bazen de kısmen ölebilmektedir.

Ekim/Dikim Normu: Çalışma kapsamında yapılan literatür taramalarında, sellukanın tarla koşullarında yapılan bir deneme/üretim incelemesine rastlanılmamış olup, üretim amacına göre genel olarak bitkilere yeterli büyüme ve gelişme alanı bırakılması gerektiği pek çok araştırmacı tarafından dile getirilmiştir (Ekren ve Yalman, 2019; Soysal ve ark. 2020).

Bilindiği gibi selluka, yem bitkisi, insan gıdası ve süs bitkisi amacına göre yetiştirilmekle birlikte, parfüm endüstri amacıyla da yetiştirilebilmektedir. Yem bitkisi amacıyla yapılacak üretimde birim alanda yüksek bitki sayısı arzulanırken (sıra arası 70 cm, sıra üzeri 15 cm, 9523 bitki/da), tane üretiminde birim alandaki bitki sayısı biraz daha azaltılmalıdır (sıra arası 70 cm, sıra üzeri 25 cm, 5714 bitki/da). Ilıman kış mevsiminin yaşandığı

bölgelerde, kalıcı selluka tesisinden endüstriyel parfüm hammaddesi üretiminde bitkinin çiçekleri kullanılacağından, çiçeklenmede sürekliliğinin sağlanması, bitki alt kısımlarının güneşlenebilmesi, toplama işçiliği, vb. durumlar da göz önüne alınarak sıra arası mesafenin 150 cm, sıra üzerinin 25 cm bırakılması (2666 bitki/da) önerilmektedir. Ayrıca elle çiçek toplama işçiliğinin daha rahat ve etkili yapılabilmesi için üzüm yetiştiriciliğinde uygulanan telli-terbiye sistemi benzeri bir tesisin de yapılması gerekmektedir. Selluka tesis edilirken domates, biber, vb. dikimlerinde yapıldığı gibi köklü fide dikilmesi istenilen bitki sıklığının sağlanmasında büyük rol oynamaktadır.

Bakım işlemleri: Selluka tohumlarının doğrudan tarlaya ekim işleminin pek yaygın olmaması nedeniyle seyreltme veya teklemeye işlemine gerek duyulmamaktadır. Zira fide dikimi başta zahmetli görünse de birim alanda istenen bitki sayısının kontrolüne olanak tanımaktadır.

Bitki tropik kökenli olduğu için suya gereksinim göstermektedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde sulama yapılmaksızın yetiştiriciliği adeta imkânsız gibidir. Bu nedenle bütçeye uygun bir sulama sisteminin hazırlanması önem taşımaktadır. Yağmurlama sulama sistemi bazı yaprak hastalıklarına (*Uromyces sp.*, *Erysiphe sp.*, *Peronospora sp.*, vb.) neden olduğu için tavsiye edilmemektedir. Suyu seven bir bitki olmasına karşılık, su göllenmelerine toleransı bulunmadığı bildirilmiştir (Etcheverry ve ark., 2008). Bu nedenle drenaja önem gösterilmelidir. Klasik sulama esasları göz önüne alınarak (tarla kapasitesi ile solma noktası arası) sulama işlemi gerçekleştirilmelidir.

Tane üretimi veya endüstriyel (parfüm, vb.) amaçlı selluka plantasyonlarında geniş bırakılan sıra aralarında ortaya çıkan yabancı otlar ortamdaki uzaklaştırılmalıdır. Bu işlem mekanik olarak (el çapası, çapa makinası, vb.) yapılabileceği gibi, bazı kimyasal ot öldürücü ilaçlarla da (herbisit) yapılabilmektedir. Ancak, günümüzde selluka bitkisine ruhsatlı bir herbisit bulunmamaktadır. Selluka geniş yapraklı bir bitki olması nedeniyle, dar yapraklı yabancı otların yok edilmesinde kullanılan ilaçlar bu amaca hizmet ederken, geniş yapraklı yabancı otların yok edilmesinde kullanılan herbisitlere çok dikkat edilmesi gerekmektedir.

Selluka bitkisinde yaygın olarak görülen hastalık ve zararlı olmadığı bildirilirken (Anonym, 2021a), söz konusu çalışmamızda Ekim ayı sonlarında selluka yapraklarında bazı pas hastalığı belirtileri gözlenmiştir. Aynı zamanda yaprak ve sap üzerlerinde kabuklu bit (*Aonidiella sp.*) zararı da saptanmıştır. Bu tip kabuklu bit ve unlu bit zararını engellemek için Isoclast etkili madde içeren böcek ilaçları (insektisitler) tavsiye edilen dozda ve zamanda uygulanmalıdır.

Bir baklagil bitkisi olan sellukanın kökünde *Sinorhizobium fredii* NGR234 bakterisinin çalıştığı, nodül oluşturduğu ve bitkiye azot sağladığı bildirilmiştir (Pongslip, 2012). Ancak çalışmamızda bitki köklerinde nodüle rastlanılmamıştır.

Selluka bitkisine büyüme ve gelişme mevsimi boyunca organik gübre uygulanabileceği fakat bunun şart olmadığı bildirilmesine karşılık (Anonym, 2021b), çalışmamızdan üretilen ve tanıtm amacıyla fide dağıtımı yapılan kişilere, dikimle birlikte dekara 8 kg fosfor uygulaması önerilmiş ve ümitvar sonuçlar elde edilmiştir. Yaptığımız ön çalışmada, gübre uygulaması sonucunda bitki başına ortalama bakla sayısının 357 adet ulaştığı belirlenmiştir.

Hasat: Selluka bitkisinin hasat işlemleri de yetiştirilme amacına göre farklılık göstermekte olup, ot, tane ve endüstriyel çiçek hasadı olmak üzere 3 temel aşamada yapılmaktadır. Hasat işleminde en önemli kısıtlardan biri bitkinin yaşıdır. Zira bitki sınırsız (*indeterminate*) bir büyümeye sahiptir. Yani bitkinin alt baklaları olgunlaşıp kurumaya başlarken, üst tarafında yeni tomurcuk ve çiçekler olabilmektedir. Buna ek olarak, çok fazla çiçek dökülmesi de gözlenmektedir. Ot üretimi için bitkinin %10-25 çiçeklenme döneminde, 10 cm anız bırakılarak elle veya biçim makinasıyla hasat edilmesi tavsiye edilmektedir. Tane için hasatta baklaların kuruması beklenmelidir. Selluka baklasında çatlama olmadığı için bitki üzerinde beklemesinin bir sakıncası yoktur. Tane hasadının elle yapılması temiz ve net bir verimin garantisidir. Yaptığımız ön çalışma sonucunda, bir bitkide ortalama 300 adet tane bağlayan bakla bulunduğu ve bir baklada da ortalama 12 adet tane olduğu saptanmıştır.

Parfüm üretimi amacıyla çiçek hasadının sabah saatlerinde, çiçek rengi tam eflatun rengine ulaştığında (çiçek başına ortalama nektar üretimi 24 µl) ve günlere bölünerek yapılması (elle) ve hemen işleme tabi tutulması gerektiği belirtilmiştir (Etcheverry ve Vogel, 2018). Çalışmamızda saptanan ilginç bulgulardan birisi de, selluka tohumlarında bir depo zararlısı olan Baklagil Tohum Böceği (*Bruchus sp.*) zararı gözlenmemiş olmasıdır.

3. Sonuç

Çalışmada şu sonuçlara ulaşılmıştır. Selluka yetiştiriciliği ile ilgili çok az bilimsel kaynak olduğu saptanmıştır. Bitki, İzmir koşullarında gerek sera, gerekse açık ortamda rahatlıkla yetiştirilebilmektedir. Tohumlarında yüksek oranda sert kabukluluk olması nedeniyle çimlenme sorunu bulunmaktadır, ancak bitkinin sap kısımlarından alınan çeliklere hormon uygulaması sonucunda başarıyla fide oluşturulabilmektedir. Çiçeklerinin olağanüstü koku salması nedeniyle parfüm endüstrisi için yeni bir kaynak oluşturabileceği dikkati çekmiştir. Sellukanın tarla koşullarında ve en az iki yıl süreyle denenmesi, diğer disiplinlerle (parfüm endüstrisi, vb.) ortak çalışmaların da yapılması kanaatine varılmıştır.

4. Teşekkür

Çalışmanın bitkisel materyalini sağlayan Sayın Abdullah Mete TİREN'e, üretim alt yapısını kullanmamıza izin veren Yağmur Çiçekçilik, Bayındır sahibi Sayın Akif ÖZÇİTİR ve eşi Münevver ÖZÇİTİR'a, maddi katkılarından dolayı SABANCI VAKFI'na teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- Altschul, S.V.R. (1973) *Drugs and foods from little-known plants*. Harvard Univ. Press
- Anonym, (2021a) <http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?taxonid=280333> (erişim: 03.03.2021)
- Anonym, (2021b) <https://www.gardeningknowhow.com/ornamental/vines/snail-vine/growing-snail-vine.htm> (erişim: 03.03.2021)
- Anonym, (2021c) <https://azbitki.com/cochliasanthus-caracalla-selluka> (erişim: 03.03.2021)
- Delgado-Salinas, A., Thulin, M., Pasquet, R., Weeden, N., Lavin, M. (2011) *Vigna (Leguminosae) sensu lato: the names and identities of the American segregate genera*, *Americ. J. Bot.* 98(10):1694-1715.
- Ekren, S., Yalman, H.B. (2019) Fidelik Harcına Uygulanan Bazı Bitki Besin Elementlerinin Fide Kalitesi Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17): 515-521.
- Emek, Y. (2018) *Micromeria dolichodontha* P.H. Davis'nın In vitro Aksiller Sürgün Yoluyla Çoğaltımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (14): 337-342.
- Etcheverry, A.V., Alemán, M.M., Fleming, T.F. (2008) Flower morphology, pollination biology and mating system of the complex flower of *Vigna caracalla* (*Fabaceae: Papilionoideae*), *Ann Bot.*, 102(3):305-316.
- Etcheverry, A.V., Hadacek, F., Vogel, S., Figueroa Fleming, T., Alemán, M.M., Gómez, C.A., Yáñez, C.N. (2010) Characterization of *Vigna caracalla* fragrance, *Acta Horticulturae*. 855:125-130.
- Etcheverry, A.V., Vogel, S. (2018) Interactions between the asymmetrical flower of *Cochliasanthus caracalla* (*Fabaceae: Papilionoideae*) with its visitors, *Flora*, 239:141-150.
- Güngör, H.H., Güler, B., Bayraktar, M., Gürel, A. (2020) *Vigna caracalla* L. Verdc. Bitkisinde In Vitro Klonal Mikroçoğaltım, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20:753-767.
- Mikić, A. (2018) *Lexicon of Pulse Crops*, Taylor & Francis Group, 361p., ISBN: 9781315109176
- Ojeda, F.S., Hoc, P.S., Amela García, M.T. (2013) Morphology of seeds and seedlings of four species of *Vigna savi* (*Leguminosae, Phaseolinae*). *Acta Botanica Brasilica*, 27(3): 483-489.
- Pongslip, N. (2012) *Phenotypic and Genotypic Diversity of Rhizobia*, Bentham Science Publishers, Thailand.
- Soysal, S., Uçar, Ö., Erman, M. (2020) Siirt İli Ekolojik Koşullarında Farklı Sıra Arası ve Sıra Üzeri Mesafelerin Bakla (*Vicia faba* L.)'nın Verim ve Bazı Verim Özelliklerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20): 740-745.
- Verdcourt, B. (1970) *Studies in the Leguminosae - Papilionoideae for the Flora of Tropical East Africa*. IV. *Kew Bull.* 24: 507-569.



Interpretation of the Magma Chamber Processes with the Help of Textural Stratigraphy of the Plagioclases (Konya-Central Anatolia)

Gülin Gençoğlu Korkmaz^{1*}, Hüseyin Kurt²

^{1*} Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geological Engineering, Konya, Turkey (ORCID 0000-0003-0185-2806), ggkorkmaz@ktun.edu.tr

² Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geological Engineering, Konya, Turkey (ORCID 0000-0001-7991-2085), hkurt@ktun.edu.tr

(First received 17 March 2021 and in final form 27 June)

(DOI: 10.31590/ejosat.898587)

REFERENCE: Gençoğlu Korkmaz, G. and Kurt, H. (2021). Interpretation of the Magma Chamber Processes with the Help of Textural Stratigraphy of the Plagioclases (Konya-Central Anatolia). European Journal of Science and Technology, (25), 222-237.

Abstract

The variations in the chemical composition and micro-texture of a mineral from the core to the rim allow the sequencing of the formation of the magma chamber processes and the interpretation of which texture might have been formed by which process. In this contribution, the textural and chemical zoning of the plagioclases, which are a significant recorder of magma chamber processes, from some enclave-containing andesites (calc-alkaline) and basalts (calc-alkaline) from the Karapınar-Karacadağ Volcanic Units, were examined and their textural mineral stratigraphies were investigated to enlight the magma chamber processes. Plagioclases from the andesitic host-rock and their enclaves generally exhibit different composition from core to rim. The composition in the enclave ranges from oligoclase to labradorite (core:An₂₅₋₇₂), however, in the host rock it ranges from andesine to labradorite (core:An₄₆₋₆₄). It is noteworthy that the plagioclases in the host-rock are mostly rounded, and reverse and oscillatory zoned with Anorthite, Fe, Mg, Sr, and Ba. However in the enclaves they display generally fine sieve and dusty sieve textures. The cores of the plagioclase micro-phenocrysts in calc-alkaline basalts are andesine-labrador (An₃₂₋₆₆) in composition. Remarkably, plagioclases in basalts show reverse and oscillatory zoning with An, Fe, Mg, Sr, and Ba, and as well as exhibit coarse-grained sieve texture with glass and microlitic inclusions, and spongy cellular textures. Combined with their An, Fe, Mg contents it is suggested that some of the plagioclases from the basalts may be xenocrysts rather than phenocrysts. Considering the textural and chemical properties of the plagioclases, in the formation of reverse and oscillatory zoning in the basaltic rocks, the decompression processes in addition to the magma mixing processes (magma mixing/self-mixing) also have an impact on the genesis of the basalts. However, in the formation of andesitic rocks, the magma replenishment processes have a key role rather than decompression or temperature-pressure change.

Keywords: Decompression, Magma Mixing, Micro-Texture, Plagioclase, Xenocryst.

Plajiyoklazların Dokusal Stratigrafisi ile Magma Odası Süreçlerinin Yorumlanması (Konya-Orta Anadolu)

Öz

Çekirdekte kenara bir mineralin kimyasal bileşimindeki ve mikro dokusundaki varyasyonlar, magma odası süreçlerinin oluşumunun sıralanmasına ve hangi dokunun hangi süreçle oluşmuş olabileceğinin yorumlanmasına olanak tanır. Bu çalışmada, Karapınar-Karacadağ Volkanik Birimleri'nden bazı anklav içeren andezit (kalk-alkalen) ve bazaltlardan (kalk-alkalen) alınan, magma odası süreçlerinin önemli bir kaydedicisi olan plajiyoklazların dokusal ve kimyasal zonlanması incelenmiştir ve dokusal mineral stratigrafileri magma odası süreçlerini aydınlatmak için oluşturulmuştur. Anklav içeren andezitler ve anklavları içindeki plajiyoklazlar genellikle çekirdekte kenara farklı bir bileşim sergilemektedir. Anklavda bileşim oligoklaz-labradorit (çekirdek:An₂₅₋₇₂) arasında değişirken, ana kayada andezinden labradorite (çekirdek:An₄₆₋₆₄) kadar değişmektedir. Ana kayadaki plajiyoklazların çoğunlukla yuvarlaklaşmış ve Anortit, Fe, Mg, Sr ve Ba ile ters ve salınımlı zonlu olması dikkat çekicidir. Ancak anklavlarda yer alan plajiyoklazlar genellikle ince elek ve kirli yüzeyle elek dokusu sergilerler. Kalk-alkalen bazaltlardaki plajiyoklaz mikro-fenokristalleri, çekirdekte kenara bileşimde andezin-labrador (An₃₂₋₆₆) bileşimindedir. Dikkat çekici bir şekilde, bazaltlardaki plajiyoklazlar, An, Fe, Mg, Sr ve Ba ile ters ve salınımlı zonlanma gösterirler ve ayrıca cam ve mikrolitik kapanımlarla iri taneli elek dokusu ve süngerimsi hücresel dokular sergilerler. An, Fe, Mg içerikleri ile birlikte incelendiğinde bazaltlardaki bazı plajiyoklazların fenokristalden ziyade ksenokristal olabilecekleri ileri sürülmektedir. Plajiyoklazların dokusal ve kimyasal özellikleri göz önüne alındığında, bazaltik kayalarda ters ve salınımlı zonlanma oluşumunda, magma karışımı işlemlerinin (magma karışımı/kendi kendine karışma) yanı sıra dekompresyon süreçleri de bazaltların

* Corresponding Author: ggkorkmaz@ktun.edu.tr

oluşumunu etkilemektedir. Bununla birlikte, andezitik kayaların oluşumunda, magmanın yeniden beslenmesi süreçleri, dekompresyon veya sıcaklık-basınç değişiminden daha ziyade anahtar bir role sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Dekompresyon, Ksenokristal, Magma Karışımı, Mikro-Doku, Plajiyoklaz.

1. Introduction

Although it is known that magmatic systems are commonly recharged in tectonic environments associated with subduction, collision or rifting, the character and frequency of recharging events, thermal and compositional effects on the primary magma are not fully understood. By using the whole-rock geochemical data only, we may not solve the complex magmatic history of the rocks, and evaluate the relative roles of fractional crystallization or mixing processes on the rock genesis. Since the minerals can be highly susceptible to gradual or sudden variations in the volcanic system, their textural and compositional zoning patterns, and also resolution and dissolution textures are generally utilized to determine the magma chamber processes (i.e. Ginibre et al. (2002); Renjith (2014); Streck (2008); Ustunisik and Kilinc (2011); Viccaro et al. (2009); Viccaro et al. (2010)). The presence of the (repeated) recharging events can be interpreted by the chemistry of the crystals. For example, plagioclases can be used as an important recorder mineral showing the recharging events and fractional crystallization processes occurring during their evolution (Ginibre et al., 2002; Singer et al., 1995; Streck, 2008). The major and minor element contents of the crystals is related to the melt composition. For example, variations in Fe, Sr, Ba, and Mg in plagioclase may result from both changes in coefficients of separation and change in melt composition, whereas changes in anorthite (An) content depend largely on temperature, pressure, oxygen fugacity (fO_2), and water content (Ginibre et al., 2007). The partition between plagioclase and silicate melt is predominantly dependent on the Ca content of plagioclase. If an An-rich increase in plagioclase is due to a large change in melt composition (superheating/recharging by processes such as magma mixing/self mixing), this growth zone will also be different from the previous zone with Fe, Sr, Ba, and Mg contents (Ginibre et al., 2007). Conversely, changes in temperature, pressure, oxygen fugacity, and H_2O content will affect An content but cause little change in Fe, Sr, Ba, and Mg. This is because the overall compositional change of the host magma is more robust (Ginibre et al., 2007). The progressive P_{H_2O} increase may affect the crystallization of the composition richer in anorthite. The decrease in anorthite content may be attributed to the decrease in both pressure and water content and/or the melt may change compositionally to more albitic composition during crystallization. The changes in the An content of plagioclases (reverse-oscillatory zoning) represent the changes in the crystallization conditions. Many researchers report that magma mixing causes that variations (Table 1). Since the convection in the magma chamber causes the changes in the temperature and the pressure at regular intervals, oscillatory zoning can be generated by convection in the magma chamber or by repeated replenishment processes. Nixon and Pearce (1987) reported that early-crystallized plagioclases can be resorbed into the magma chamber by repeated hot and basaltic magma inputs. Gill (1981), Pearce (1994); Singer et al. (1995) suggested that oscillatory zoning may occur with diffusion rate-controlled compositional gradients at the crystal-melt interface or with rhythmic changes in petrological variables such as pressure and P_{H_2O} (Table 1). In addition, the position of the liquidus-solidus curves of plagioclase changes depending on the water content of the magma. Water can

reduce the value of liquidus-solidus curves by a few hundred °C. Thus, the rising and dropping in the water content of the magma bring about changes in the crystallization conditions and cause variations in the An content. Recent studies indicate that FeO and An contents are discordant under constant fO_2 , whereas they become concordant when the fO_2 has a significant modification (Viccaro et al., 2010). Therefore, to detect the most effective process (water content, P_{H_2O} , fO_2 of the magma, decompression and/or repeated replenishments of more primitive and hotter magma) on the evolution of both textural and chemical modifications of the plagioclase, the concordant or discordant relationships of the major and minor elements such as An, Fe, Mg, Sr, Ba spot by spot should be evaluated together. The convection in the magma chamber gives rise to the replenishment of the more evolved magma by the more primitive, fresh and hotter magma. The replenishment of the magma can be executed by (1) cryptic mixing, (2) self mixing and (3) magma mixing. In cryptic mixing, the magma with the same composition but with different oxygen fugacity and water content must make repetitive involvements as small inclusions. Also, self mixing means an environment advanced by the replenish of a hotter magma at the base of the magma chamber (Couch et al., 2001; Huppert et al., 1982; Renjith, 2014). In magma mixing process, more primitive and more hotter magma introduces into the more evolved magma. The absence of enclaves, ocellar textures, acicular-quenched-bladed biotite-amphibole minerals, and the reaction of olivine rims explain other superheating phenomena rather than magma mixing.

The Neogene-Quaternary aged Karapınar-Karacadağ Volcanic Units (southwest extension of the Cappadocia Volcanic Province), which has a complex petrogenetic story associated with the opening and closure process of the Neotethys ocean, crops out in a wide area extending to Karapınar-Emirgazi-Ereğli in the SE of Konya (Figure 1). Neogene lava flows/domes with calc-alkaline; intermediate-acidic composition in the study area are named as "Karacadağ volcanites". On the other hand, Quaternary aged mafic-intermediate volcanites with mildly alkaline-calc-alkaline character crop out as scoria cones and lava flows are named as "Karapınar volcanites". Recent studies indicate that basaltic and dacitic rocks from the Karacadağ volcanites yielded ^{40}Ar - ^{39}Ar ages ranging between 5.65-5.45 Ma (Gençoğlu Korkmaz et al, under review) and basaltic rocks from the Karapınar volcanites yielded the maximum age of 2.5 Ma (Dogan-Kulahci et al., 2018; Reid et al., 2017). Some of the Karacadağ andesites and Karapınar basalts contain enclaves (magma segregation, magma mixing and xenolith) with different types and compositions (Gençoğlu Korkmaz et al. under review). Here, we present the assimilation-contamination and magma recharging processes, which are open system processes, by utilizing mineralogical records. Since the textural properties and chemical compositions of the minerals can indicate open system processes (Streck, 2008), especially the texturally different plagioclase minerals of the enclave-containing (magma mixing and magma segregation) andesites and basalts (xenocryst-bearing) examined in this study to explain these processes. In this study, Fe, Mg, An, Sr, and Ba contents of the plagioclase minerals and their relationships with each other were investigated, and the different recharging events were tried to be understood by mineral

chemistry and petrographic analysis. Mineral-textural stratigraphies of the plagioclases have been presented in different tables and the recharging events were tried to be understood by mineral chemistry and petrographic analysis. The symbol D in the tables represents the textural domain, and the display from the first textural area (bottom) to the last textural area (top) is D1-D4, respectively.

2. Material and Method

Around 700 samples were randomly compiled from domes, lava flows, block flows, and scoria cones from Central Anatolian Volcanism (Neogene-Quaternary aged Karapınar-Karacadağ Volcanic Units). Approximately 180 thin sections were made in Ankara University Earth Sciences Application and Research Center (YEBİM) and petrographic observations especially for micro-textures in plagioclase were executed in detail under a

polarizing microscope in Konya Technical University Geological Engineering Microscope Laboratory. Several micro-textures are identified for plagioclase minerals and they are illustrated in both microphotographs as well as schematic diagrams. Representative nine plagioclase grains showing maximum micro-textural diversity were chosen for the interpretation and the determination of the relationship between microtextures and the chemical composition of them. Thin sections were polished and coated with carbon to conduct electron micro-probe analysis (EPMA) Backscattered electron (BSE) images were taken, and EPMA analyzes were executed using JEOL brand JXA 8230 device under 20 kV voltage and 15 nA current at Ankara University YEBİM. The detailed procedure for performing the analysis has been reported in detail in Deniz and Kadioğlu (2019). Micro-probe analysis data are presented in Supplementary data (S1).

Table 1. Based on several researchers, growth-resorption-dissolution textures and their definitions observed in the investigated plagioclases.

Texture-Symbol	Interpretation	References
Oscillatory zoning 1) Fine banding-FOZ 2) Coarse banding-COZ	a. Compositional gradients with diffusion rate control at the crystal-melt interface b. It may occur with rhythmic changes (P or P _{H2O}) in environmental variants. c. It can occur with repeated supersaturation and crystallization in anhydrous melt d. Thin layer: Kinetic controlled: small-scale compositional fluctuations (1-10 μm) Thick layer: Dynamic magmatic process controlled: growth zone, mantled growth zone.	a. Gill (1981); Pearce (1994); Singer et al. (1995); Brophy et al. (1996) b. Gill (1981) c. Vance (1965) d. Streck et al. (2008); Duda and Schmincke (1985)
Patchy zoning-PZ	a. It can happen when a crystal is in the re-equilibration process by diffusion. b. Areas with sodic patches in some crystals may possibly reflect water-saturated decompression proceeding with crystallization and gas removal at shallow depth. c. If the compositional change associated with the transition from a patch to a neighboring patch is sharp, crystal growth probably occurs. d. If there is a progressive transition from a patch to a neighboring patch, there is diffusional re-equilibration.	a. Streck (2008) b. Ginibre and Wörner (2007) c. Stewart and Pearce (2004) d. A. Tomiya and E. Takahashi (2005); Streck et al. (2007)
Sieve texture: Cellular texture (A,B) 1) Fine sieve-FS 2) Coarse sieve-CS A) Spongy cellular-SC B) Boxy cellular-BC	Sieve texture is also known as cellular texture and pitted texture. It can be classified by various researchers according to the size and shape of the pits on the surface of the mineral. a. A prolonged and intense dissolution by interaction with a more primitive magma. b. Pitted texture; They can be examined in two categories as spongy cellular and boxy cellular and can be observed as glass-containing or depression pits/craters. a. Sodic plagioclase-rich melt can be realized by the equilibration reaction with a more calcic plagioclase-rich melt. b. Can occur with rapid decompression (temperature under constant falling pressure) c. May be occurred by partial dissolution/resolution due to reaction with a more calcic melt. d. Usually can occur with diffuse dissolution a. Sodic crystal can be realized by equilibration reaction with more calcic melt. b. It may occur by dissolution-resolution caused by the change in the adiabatic decompression rate of undersaturated magma c. Can occur with rapid growth (such as skeletal growths) d. Resorption (experimentally interpreted square and zigzag-shaped melt inclusions as boxy-shaped cellular texture)	a. Renjith (2014) b. Lunney (2002) a. Nelson and Montana (1992); Pearce (1994); Singer et al. (1995); Tsuchiyama (1985) b. Nelson and Montana (1992) Singer et al. (1995) c. Renjith (2014) d. Streck (2008) a. Nakamura and Shimakita (1998) b. Renjith (2014) c. Hibbard, 1995 d. Nakamura and Shimakita (1998)
Broken crystals-B	a. It may occur with decompression caused by strong aerial volcanic eruptions.	a. Renjith (2014)
Synneusis crystals - S	a. It can occur by convection related to magmatic turbulence in the magma chamber. b. It is a process in which microliths drift together and bind to large phenocrysts, indicative of magmatic turbulence.	a. Renjith (2014) b. Vance (1969)
Glomerocrystals-G	Suturing of spatially closer resorbed crystals by the convection in the magma chamber	Renjith (2014)
Dentritic texture-D	a. Extreme undercooling b. Water exsolution	a. Logfren (1974) b. Castro (2001)

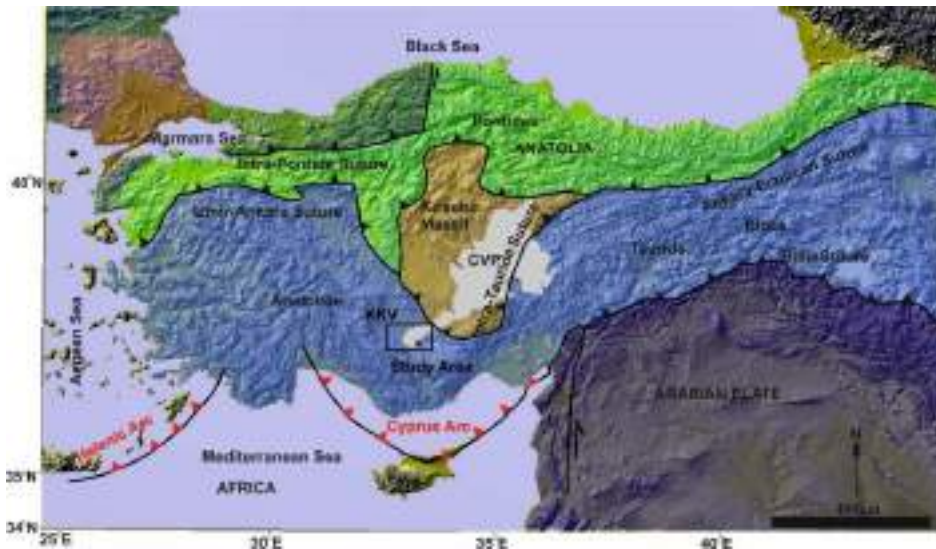


Figure 1 Location map of the investigated area in Turkey tectonic units map (Okay & Tüysüz, 1999). KKV: Karapınar-Karacadağ Volcanics, CVP: Cappadocia Volcanic Province. Solid lines represent major suture zones (black lines with black triangles), arc systems (black lines with red triangles) separating continental blocks in Turkey. The map is taken from Gençoğlu Korkmaz et al (under review).

3. Results and Discussion

3.1 Results

3.1.1. Textural properties of plagioclases

Plagioclases in the investigated andesitic host-rock are generally rounded at the core and more angular at the rims. Some of the plagioclases display repeated oscillatory zoning in growth zones from the core to the rim (Figure 2 a, b, d, e). Dendritic texture (D) and patchy zoning (PZ) are also observed in the cores of plagioclases from the same rocks. However in the enclaves from the andesites, plagioclases generally exhibit fine-grained sieve texture (FS) and coarse-grained sieve texture CS (Figure 2 c, f). In the plagioclases from the basalts have dominantly spongy cellular SC and CS with glass and microlitic inclusions, and rarely FS and boxy cellular textures (BC) (Figure 2 g-i, m). While some andesites contain broken olivines (Figure 2j), some basalts include especially synnesis (S) crystals (Figure 2.l), glomerocrysts (G) (Figure 2.l), and accompanying broken (B) olivines (Figure 2k).

3.1.2 Mineral chemistry of plagioclases

Generally in andesites, plagioclase cores are andesine in composition. Plagioclases from the andesitic host-rock and their magma segregation enclaves generally exhibit different composition from core to rim. In the enclave they range between oligoclase- labradorite (core:An₂₅₋₆₇, rim: An₂₇₋₃₄) in composition. However in the host rock they are andesine-labradorite (core:An₅₆₋₆₀, rim: An₄₂₋₅₂). Plagioclases from the magma mixing enclaves are labradorite (An₆₁₋₇₂) in thier cores. However in the host rock plagioclase cores range from andesine to labradorite in composition (core:An₄₆₋₆₄)Also, plagioclases in some enclaves are

enriched with Ca at the rims and are bytownite in composition (Figure 3). On the other hand, plagioclase micro-phenocrysts cores in basalts range in composition between andesine and labradorite (An₃₂₋₆₆). Also, plagioclase microliths from the same basalts are anorthite. Alkali feldspar also occurs in the groundmass of the basalts, ranging anorthoclase to sanidine in composition.

Plagioclases in the andesitic host rock generally display oscillatory and inverse zoning and they have Fe, Mg enriched growth zones. One of the texturally investigated plagioclase from the andesitic host rock contains 59.7% An, 1336 ppm Sr, 394.09 ppm Ba, 4060.45 ppm Fe, 84.43 ppm Mg, in the core. However, in the magma segregation enclave, the core of the plagioclase phenocryst contains lower An (25%), Sr (617.32 ppm), and Ba (116.43 ppm), higher Fe (5048.33 ppm), and Mg (247.27 ppm) compositions. All plagioclases from the magma mixing enclave from the andesites are completely sieved, hence, we acquired a few meaningful results (Supplementary data S1). The plagioclase cores contain 6000-7000 ppm Fe, 60-70% An, while the core of plagioclase phenocrysts from the host-rock include lower Fe (3000-3900 ppm) and An (45-65%) than those of enclave. In the basalts, we observed 2 different types of plagioclase micro-phenocrysts except for microlites. One of them contains lower An, Sr, Ba, but higher Fe, Mg contents in the core (An:66-32 %; Sr: 169-1057 ppm; Ba: 0-214 ppm; Fe: 9093-23600 ppm; Mg: 500-747 ppm). The other one contains An, Fe, Mg values as lower as to not be formed in the basaltic magma (An:32-43 %; Sr: 1268-1440 ppm; Fe: 1641-1711 ppm; Mg: 0-205 ppm; Ba: 438-609 ppm).

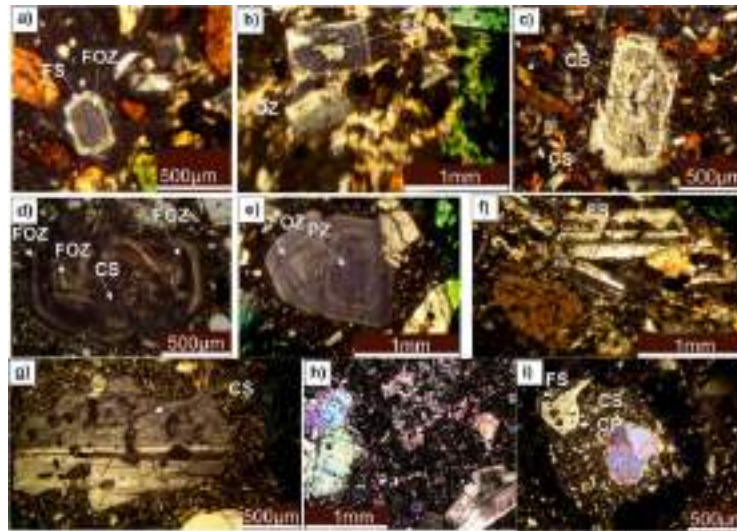


Figure 2 Microphotographs of plagioclases showing distinct textural zoning and sieve texture of the investigated rocks. (a)-(b) FS and FOZ in plagioclases from the andesites, (c) CS in plagioclases from the magma mixing enclave, (d) CS and repeated FOZ and (e) FOZ and PZ in the plagioclases from the andesitic host rock, (f) FS plagioclases from the magma segregation enclave, (g) SC textured plagioclase, (h) FS and (i) FS, DS, and CP textures in plagioclases from the Karapınar basalts. CP: Clear Plagioclase; CS: Coarse Sieved; DS: Dusty Sieve; FS: Fine sieve; FOZ: Fine oscillatory zoning; SC: Spongy Cellular; PZ: Patchy zoning.

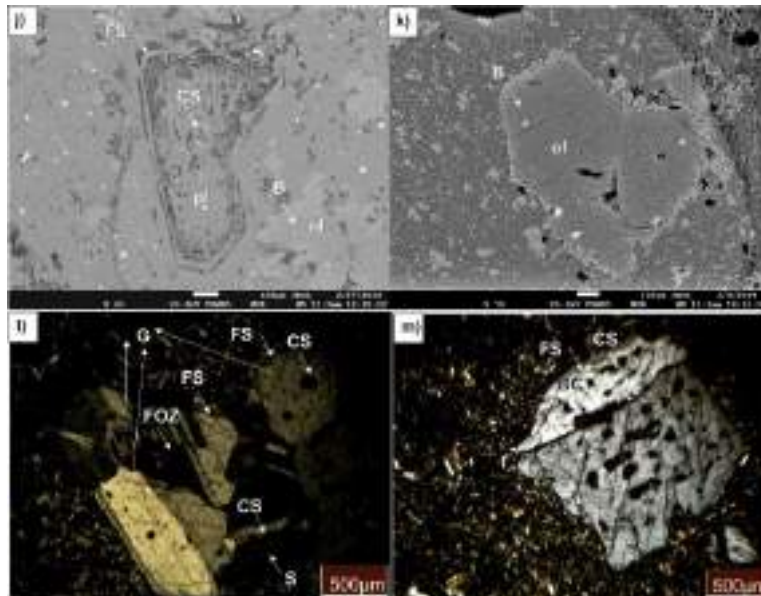


Figure 2 cont. BSE images of the plagioclases (j) from the andesites and (k) basalts (l)-(m) Microphotographs of the plagioclases showing distinct textural zoning and sieve textures from the basalts. B: Broken crystals; BC: Boxy Cellular; G: Glomerocrysts; S: Synneusis crystals. pl: plagioclase; ol: olivine.

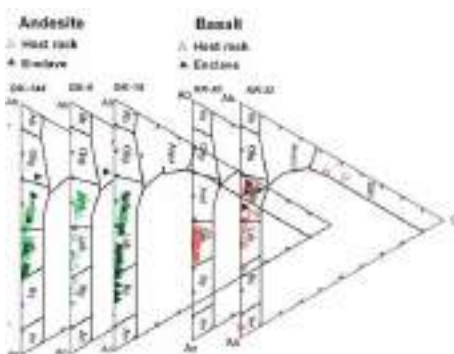


Figure 3 Ab-An-Or classification diagram (Deer et al., 1963) of the feldspars from the investigated rocks.

3.2 Discussion

3.2.1. Relationships between Textures and Trace Element Distributions of Plagioclases

In plagioclases, Sr is a compatible element and generally has a concordant relationship with the An content. With the differentiation of the melt, the Sr and An contents decrease in plagioclases. The Ba element also conforms to Sr and decreases with differentiation. Mg element is rare found in plagioclases relative to Fe element. Fe, Mg and calcic composition increasing at the rims together with the sieve textures may indicate that the magma is resorbed and recharged by a more mafic magma (Ginibre & Wörner, 2007; Streck, 2008; Streck et al., 2005; Streck et al., 2002; Akihiko Tomiya & Eiichi Takahashi, 2005). During

recharging, resorption surfaces may develop between growth zones, depending on the level of temperature and composition difference. Patchy zoning shows that the crystal is resorbed by a more mafic magma (Ginibre & Wörner, 2007), which is supported by the increase in Fe, Mg in growth zones. If there is little or no compositional change in minor element contents, patchy zonings suggests that the crystals may have been subjected to undersaturated decompression (Ginibre & Wörner, 2007). Fine oscillatory zoning could be formed by small-scale Physico-chemical perturbation created by convection at the crystal-melt interface. FOZ occurs in two way as dynamic (with rhythmic changes in water pressure, temperature, or composition if the amplitude of changes in An is > 2%; Humphreys et al. (2006); Ginibre et al. (2002)) and kinetic (close to equilibrium condition; Pearce (1994); Ginibre et al. (2002)) models. Intermittent dissolution-regrowth properties, high amplitude (> 2%) in An changes, and wavy growth zone margins are evidence that strongly supports the dynamic model (Ginibre et al., 2002). Sieve textures (FS, CS, SC, BC) may be originated from dissolution, resorption, or decompression as mentioned in table 1. Generally prolonged and dense interaction with more primitive magma gives rise to the formation of the FS textures. The dense pits may seem as dusty surface and generally is known as dusty sieve texture (DS). Investigated plagioclases in andesites generally have a significant resorption surface, repeated FOZ, and CS. They have (multiple) enrichment in major oxides (FeO, CaO) and minor elements (S1) in their growth zone and their rims. However, plagioclases from the magma segregation enclaves display commonly FS. Plagioclases from the magma segregation enclaves have a more primitive composition relative to those from their host (S1). It is suggested that plagioclases from the magma mixing enclaves have been exposed to recharging events by more calcic and more mafic magma (S1) because of showing rounded,

interconnected-widespread-dense sieve texture. Subhedral-euhedral and normal zoned crystal growth (CP-clear plagioclase) has occurred in the equilibrium magmatic condition in the rims of some plagioclases. Some of the plagioclases from the basalts have enriched in Fe, Mn contents in their growth zones and/or rims, however, others display the fluctuating relationship in chemical content (S1). Combined with their widespread spongy cellular and coarse sieved textures, it could be inferred that decompression and the recharging events had a key role in their genesis. Combined with the major-minor element distributions (Figure 4-12), the textural characteristics of the most representative plagioclases could help to make their textural stratigraphy (Table 2-10). According to chemical and textural zoning patterns we propose the textural stratigraphy of the most representative plagioclase grains from the investigated rocks at below.

Table 2 Textural stratigraphy of the plagioclase from the Andesitic Host-rock (GK-144-C1)

Domain	Texture	Process
D4	FOZ	Repeated and multiple interaction with more calcic, more primitive and more hotter magma. An content variation in the zone is (> 2%) (Figure 4). FOZ is existed by dynamic model.
<i>RS (Resorption Surface): Interaction with hotter Fe-Mg-Sr-An-FeO-Ca-rich Ba depleted magma: Major RS developed.</i>		
D3	FOZ	Interaction with more hotter and more primitive magma. FOZ growth zones are rather flat than wavy (Figure 4). FOZ is existed by dynamic model.
<i>RS (Resorption Surface): Interaction with hotter Fe-Mg-Sr-An-FeO-Ca-rich Ba depleted magma: Major RS developed.</i>		
D2	FOZ	Repeated and multiple interaction with more calcic, more primitive and more hotter magma. An content variation in the zone is (> 2%) (Figure 4). FOZ is existed by dynamic model.
<i>Ambiguous resorption surface: Minor RS developed.</i>		
D1	CS D	Interaction with the hotter, and Fe-Mg-An-Sr rich magma. Fe-Mg-An-Sr content from the core to the growth zone firstly decreases slightly and then increases regularly (Figure 4). The main process is recharging by a hotter and primitive magma. The presence of the enclave may be an indicator of self mixing. In the CS-formed core, dendritic texture is widely observed.

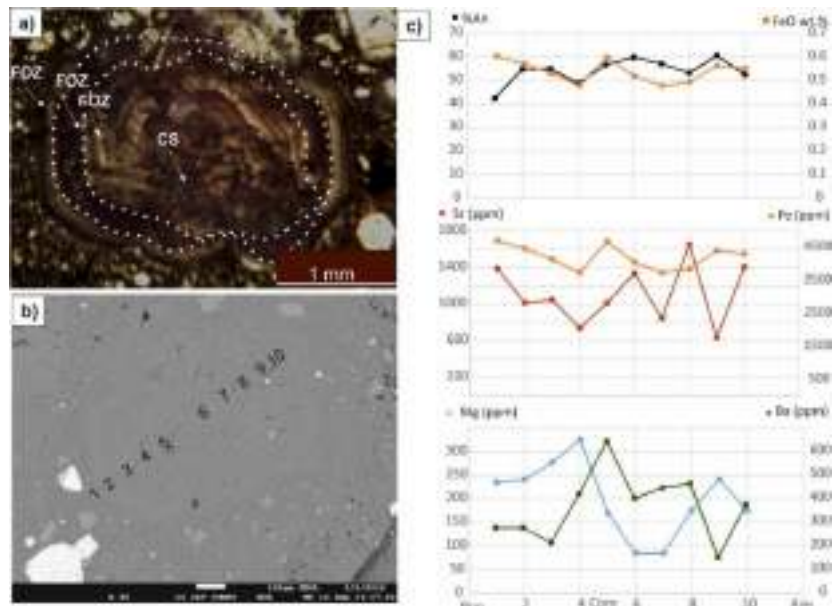


Figure 4. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase from the andesitic host rock (GK-144-C1) and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the rim to the rim.

Table 3 Textural stratigraphy of the plagioclase from the Magma Segregation Enclave (GK-144-C5)

Domain	Texture	Process
D1	FS	Interaction with the hotter, Fe-Mg-An-Sr-Ba rich magma. An content of the core shows a concordant relationship with Fe-Mg, except for the core. Sr, Ba, Fe have a completely positive correlation. The diagrams display the fluctuation in An-Fe-Mg contents (Figure 5). The quite low An content in the core may be due to the change in the water content and oxygen fugacity of the magma. The plagioclase phenocryst is more primitive than those of host rock, and has higher Fe-Mg content. It may be crystallized at an early stage in the magma chamber, and has been brought into the andesitic host-rock by convection in the magma chamber. During this process, it has interacted with the more primitive magma.
	DS	

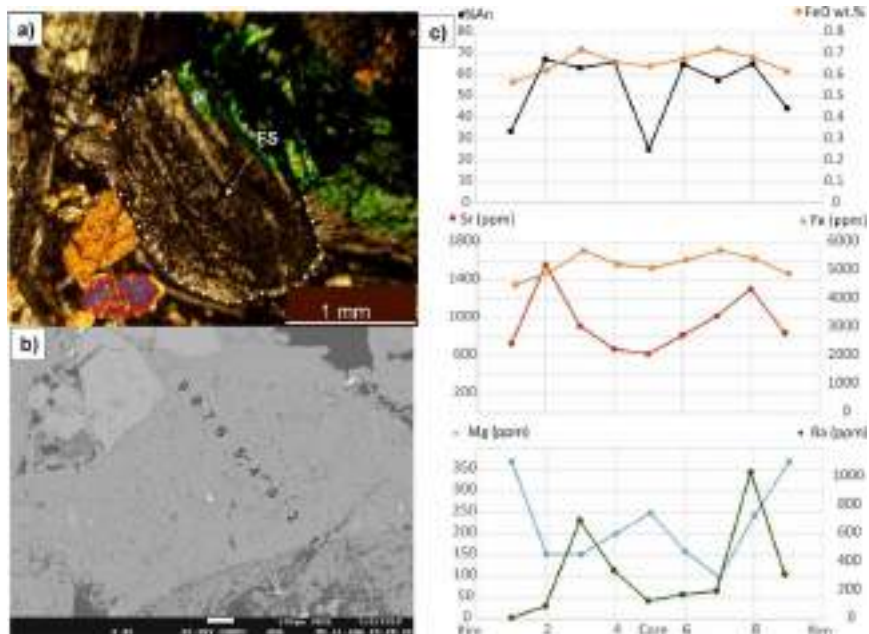


Figure 5. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase from the magma segregation enclave of andesite (GK-144-C5) and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the rim to the rim.

Table 4 Textural stratigraphy of the plagioclase from the Andesitic Host (GK-6-C3)

Domain	Texture	Process
D4	CP	Subhedral- Euhedral and clear surface crystal growth
D3	FS	Interaction with the Fe-Mg-FeO-Ba rich, An-Sr depleted magma (Figure 6). The discordant relationship of the An content with Fe-Mg can be explained by the variations in oxygen fugacity and water pressure.
<i>RS (Resorption Surface) : Interaction with Fe-Mg-FeO rich, An-Sr-Ba depleted magma: Major RS developed.</i>		
D2	CS	Interaction with hotter and Fe-Mg-Sr-Ba-Ca enriched magma (Figure 6). The formation of interconnected and large-sized pits is associated with intense and prolonged dissolution.
<i>RS (Resorption Surface) : Interaction with hotter and Fe-Mg-Sr-Ba-Ca rich magma: Major RS developed.</i>		
D1	FS	Interaction with hotter and Fe-Mg-Sr-Ca-An enriched magma (Figure 6). There is an enrichment with An, Fe, and Mg from the core to the growth zone.

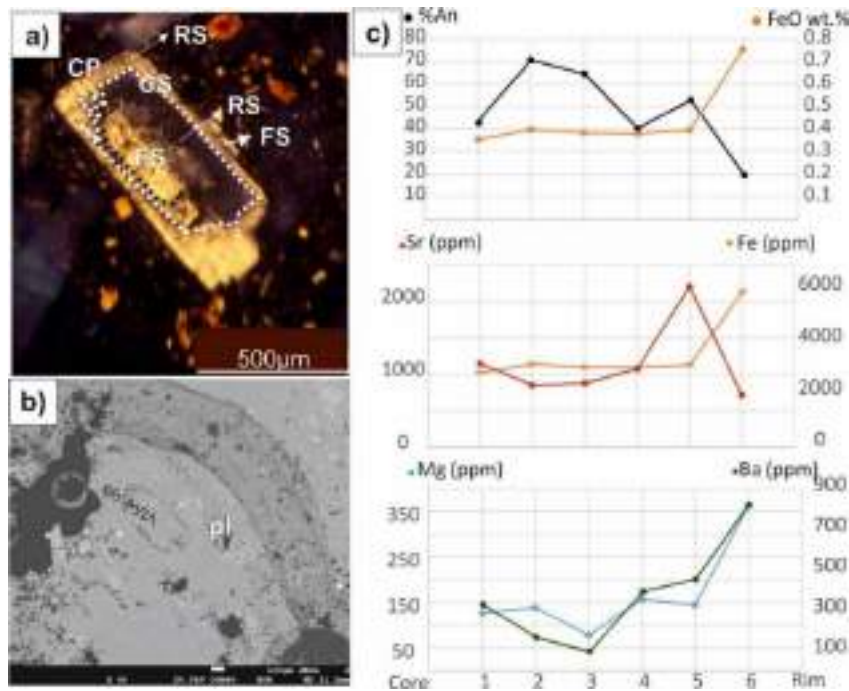


Figure 6. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase from the andesitic host rock (GK-6-C3) and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the core to the rim.

Table 5 Textural stratigraphy of the plagioclase from the Andesitic Host (GK-6-C6)

Domain	Texture	Process
D4	CP	Subhedral- Euhedral and clear surface crystal growth
<i>RS (Resorption Surface): Interaction with hotter Fe-Mg-Sr-An-FeO rich Ba depleted magma: Major RS developed.</i>		
D2	CS	Interaction with the hotter, Fe-Mg-Sr-An-FeO-Ca-rich and Ba depleted magma. The formation of interconnected and large-sized pits is associated with intense and prolonged dissolution (Figure 7).
<i>RS (Resorption Surface): Interaction with hotter Fe-Mg-Sr-An-FeO rich Ba depleted magma: Major RS developed.</i>		
D2	CS	Interaction with the hotter, Fe-Mg-Sr-An-FeO-Ca-rich and Ba depleted magma. Interconnected and large size sieves show intense or prolonged dissolution (Figure 7).
<i>Significant resorption surface is not developed.</i>		
D1	CS SC	Interaction with hotter magma. There is no significant composition change in An, Fe. Heat transfer is faster during overheating than chemical change by diffusion (Self-mixing) (Figure 7).

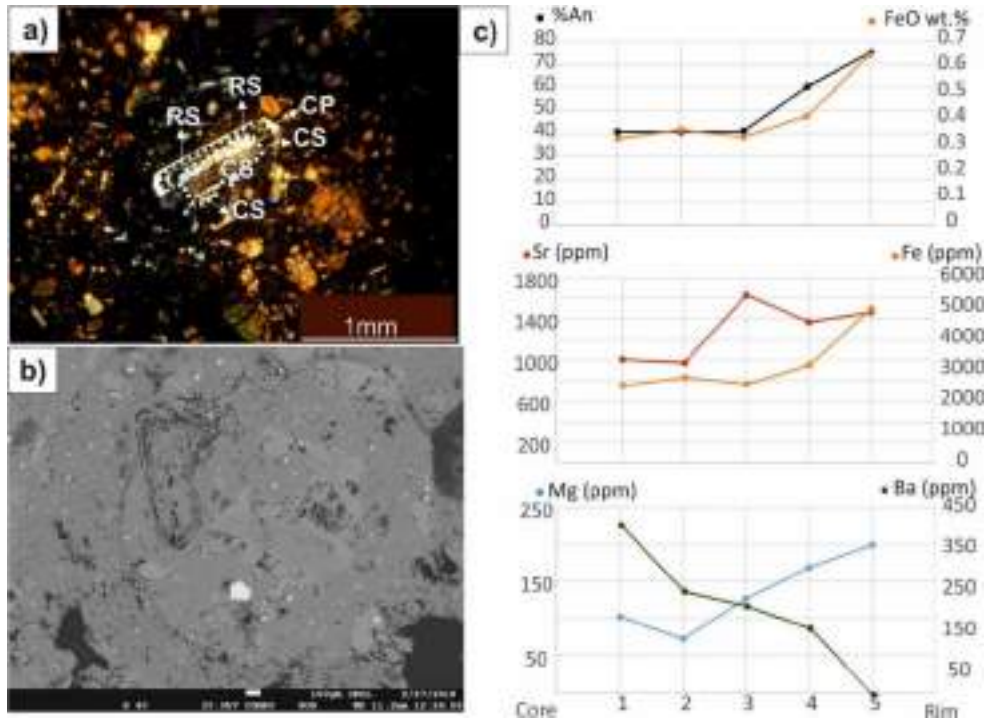


Figure 7. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase from the andesitic host rock (GK-6-C6) and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the core to the rim

Table 6 Textural Stratigraphy of the plagioclase from the Magma mixing Enclave (GK-15-C5)

Domain	Texture	Process
D2	CS	Interaction with hotter magma. There is no significant composition change in An, Fe. Heat transfer is faster during overheating than chemical change by diffusion (Figure 8).
<i>RS (Resorption Surface): Interaction with more hotter and more enriched in Fe-Mg-FeO and more depleted magma in Sr, Ba: Major RS developed.</i>		
D1	FS (with rounded core) DS	Interaction with the hotter Fe-Mg-FeO rich and Sr-Ba depleted magma. Glass inclusions, interconnected and small pits indicate an intense or prolonged dissolution. Significantly resorbed, rounded core shows dense-dusty sieve texture (Figure 8). The low An content in the core may be related to the water content of the magma. Although FeO-An contents generally show a concordant relationship from the core to the rim, An significantly peaks in the middle-growth zone where the pits are concentrated and FeO is decreased. The oscillatory changing in Fe-Mg-Sr-Ba contents from the core to the rim may be due to repetitive, intense and prolonged interaction.

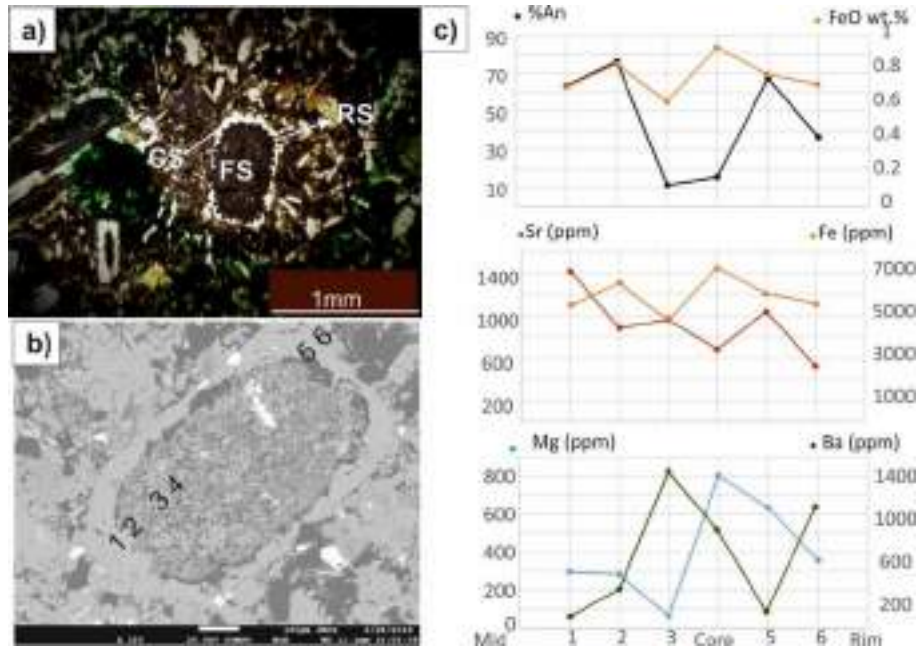


Figure 8. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase from the magma mixing enclave of the andesitic host rock (GK-15-C5) and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the mid to the rim.

Table 7 Textural Stratigraphy of the plagioclase from the Magma mixing Enclave (GK-15-C6)

Domain	Texture	Process
<i>RS (Resorption Surface) : Interaction with hotter Fe-Mg-Sr-An-FeO-Ca-rich Ba depleted magma: Major RS developed.</i>		
D3	CS	Interaction with hotter and more primitive magma
D2	G	Suturing of closely resorbed /absorbed crystals. After the microcrysts came together, CS developed again (Figure 9). The rim is rounded due to the long and intense interaction.
<i>RS (Resorption Surface) : Interaction with hotter, Fe-Mg-Sr-An-FeO-Ca-rich Ba depleted magma: Major RS developed.</i>		
D1	CS	Interaction with the hotter, Fe-Mg-Sr-An-FeO-Ca-rich and Ba depleted magma. Rounded core, interconnected and large sized sieves show intense or prolonged dissolution (Figure 9).

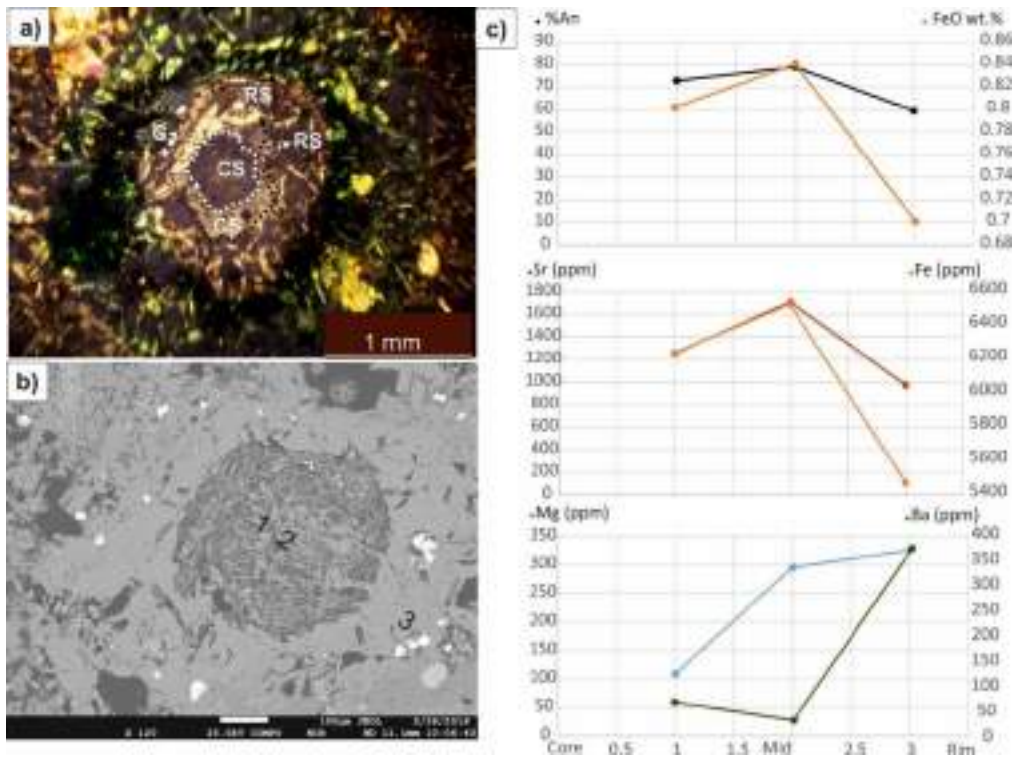


Figure 9. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase from the magma mixing enclave of the andesitic host rock (GK-15-C6) and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the core to the rim.

Table 8 Textural Stratigraphy of the plagioclase from the Basaltic Host rock (KR-30-C3)

Domain	Texture	Process
D3	CP	Subhedral- Euhedral, normal zoned crystal growth (Figure 10).
D2	FS	Decompression (Continue). The size of the large pits have decreased from the core to the rim, and small-sized pits concentrated in the rims (Figure 10).
<i>Ambiguous resorption surface: Minor RS developed.</i>		
D1	CS	Decompression. An enrichment in Mg-An-Sr content and a depletion in Fe content from the core to the growth zone. The irregular relationship between Fe-Mg-An is perhaps due to changes in the water content and oxygen fugacity of the magma. An and Sr generally tend to be compatible with each other (Figure 10). CS may be formed by rapid decompression.

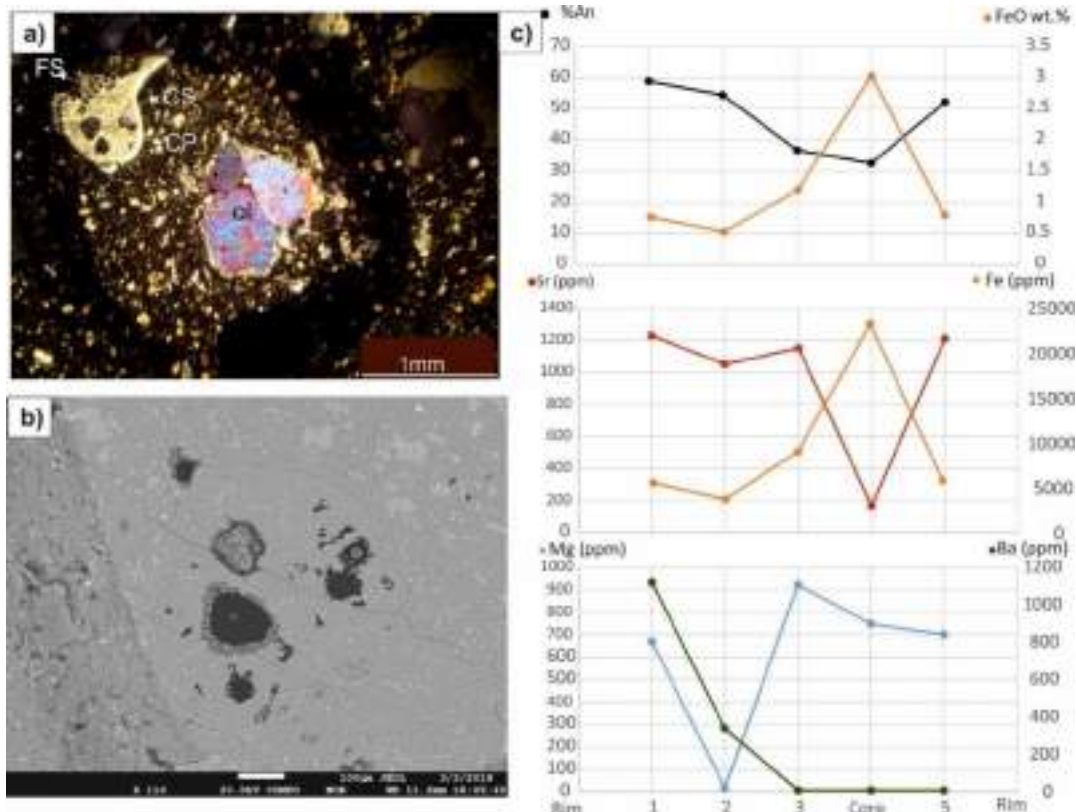


Figure 10. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase xenocryst from the basaltic host rock (KR-30-C3) and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the rim to the rim.

Table 9 Textural Stratigraphy of the plagioclase from the Basaltic Host rock (KR-32-C4)

Domain	Texture	Process
D3	CP	Subhedral and clear-surfaced crystal growth
<i>Significant resorption surface is not developed.</i>		
D2	FS DS	Interaction with hotter, Fe-Mg-FeO rich magma. Dense fine sieves indicate intensive or prolonged dissolution. During the heating, smaller but very dense FS texture forms from the large pits in the core. From the core to the rim oscillatory and irregular variations in Fe-An contents can be explained by water content and oxygen fugacity (Replenishment process cannot explain that due to Mg (0) content) (Figure 11).
<i>Ambiguous resorption surface: Minor RS developed.</i>		
D1	CS	Interaction with more primitive magma. Due to the significant increase in Fe-Mg content from the core to the growth zone, it may be heated by a Fe-Mg rich source. An-Sr contents decrease regularly, show normal zoning and a concordant relationship with each other from the core to the growth zone. Fe-Mg contents, on the other hand, increase regularly and show a negative relationship with An composition (Figure 11). Therefore, it may be reheated and recharged by a Fe-Mg rich source. The irregular variations in An content can be explained by changes in water content and oxygen fugacity. Also, their An, Fe, Mg values in the core are too low to be occurred in a basaltic rock. Therefore they are probably xenocrysts plucked from the wall rock during magma arising.

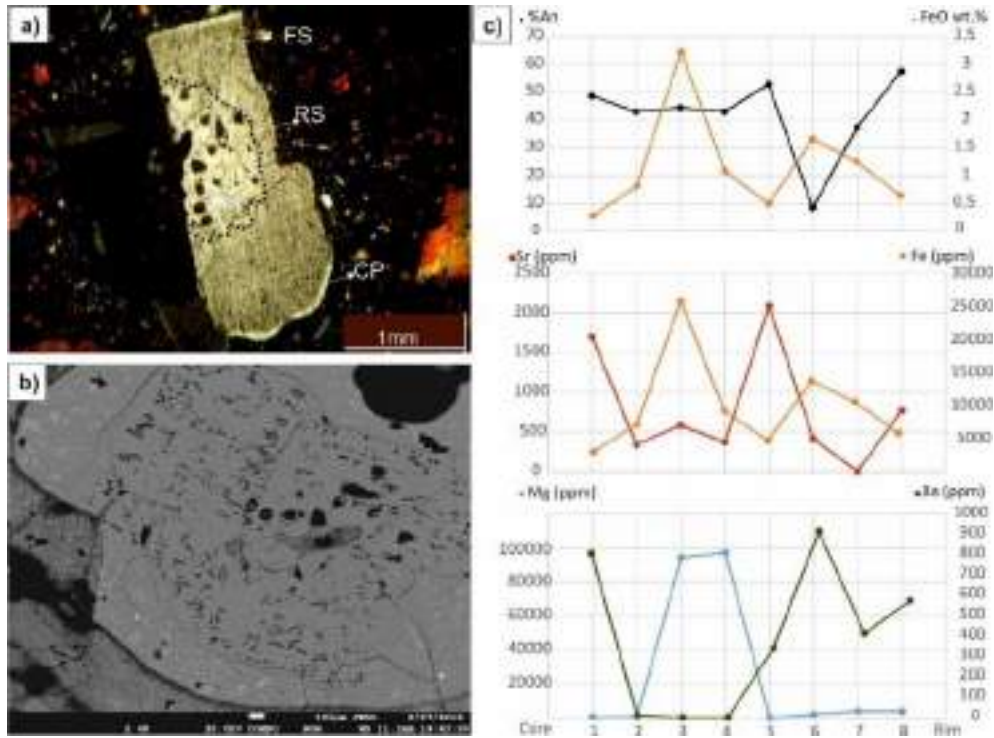


Figure 11. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase xenocryst from the basaltic host rock (KR-32-C4) and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the core to the rim.

Table 10 Textural Stratigraphy of the plagioclase from the Basaltic Host rock (KR-32-C7)

Domain	Texture	Process
D5	CP	Euhedral and clear-surfaced crystal growth
<i>Significant resorption surface is not developed.</i>		
D4	FS DS	Interaction with the hotter, Fe-Mg-FeO rich magma. During reheating, smaller but very dense pits have formed FS texture (Figure 12). The irregular variations in An and Fe content can be explained by changes in water content and oxygen fugacity
<i>Ambiguous resorption surface: Minor RS developed.</i>		
D3	CS	During heating, the size of the pits decreases from the core to the rim (Figure 12).
<i>Significant resorption surface is not developed.</i>		
D2	PZ	Wide and widespread patchy zoning indicates widespread resorption.
<i>Significant resorption surface is not developed.</i>		
D1	CS SC	Decompression. An-Sr compositions decrease regularly, show normal zoning and a concordant relationship with each other from the core to the growth zone. Fe-Mg contents, on the other hand, shows a negative trend with An (Figure 12). Therefore, it may be reheated and recharged by a Fe-Mg rich source. The irregular variations in An content can be explained by changes in water content and oxygen fugacity. Large-sized SC may be formed by rapid decompression. Also, their An, Fe, Mg values in the core are too low to be occurred in a basaltic rock. Therefore they are probably xenocrysts plucked from the wall rock during magma arising.

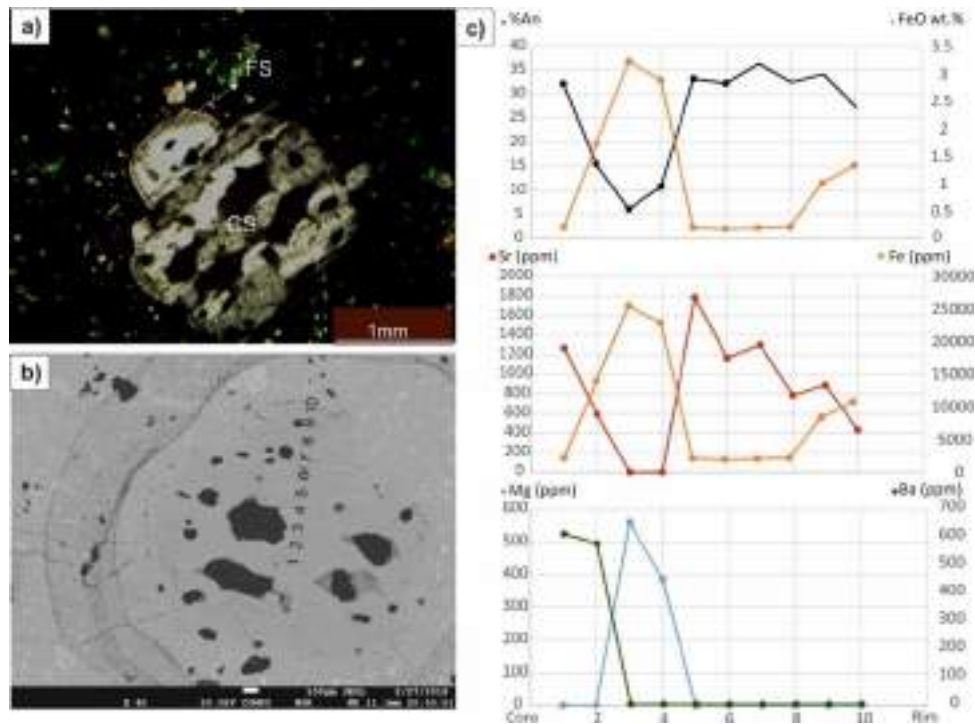


Figure 12. (a) Microphotograph, (b) BSE image of the plagioclase from the basaltic host rock (KR-32-C7), and (c) An-Fe-Mg-Sr-Ba variation diagrams of the same plagioclase from the core to the rim.

3.2.2. The importance of textural properties and chemical changes of plagioclases

The shallow magma chamber is dynamically active by convection or by new magma pulses or a combination of both. Repeated fine-grained sieve occurrence and oscillatory zoning in a single plagioclase crystal may indicate that multiple superheating events have occurred (Renjith, 2014; Viccaro et al., 2010). Crystals in the shallow magma chamber may encounter self-mixing or magma mixing which occurs when the magma chamber is recharged with hotter magma at the bottom through convection or turbulence (Couch et al., 2001; Huppert et al., 1986). Magmatic processes in the shallow magma chamber are not uniform to produce a homogeneous crystal assemblages. For instance magma mixing (self-mixing) process can generate textural heterogeneity (Perugini et al., 2004). Thus, fresher, more primitive magma comes into the shallow magma chamber from the deep magma chamber, and multiple recharge events may take place and heterogeneous crystal assemblages may coexist. It shows that phenocrysts with different textural sequences may occur in the rock. It indicates that the lava units may be heterogeneous in terms of more than one crystal assemblage.

Sieve and cellular textures can be formed by the reaction of sodic plagioclase with more calcic melts (Nakamura & Shimakita, 1998; Nelson & Montana, 1992; Pearce, 1994; Singer et al., 1995; Tsuchiyama, 1985), or the result of rapid decompression (adiabatic decompression). Fine and/or coarse-grained sieve texture, spongy texture, reverse, and/or oscillatory zoning are frequently observed in the plagioclases from the investigated volcanites. Combined with chemical compositions from the cores to the rims, we report that these textures observed in plagioclases may have been caused by interaction with a more primitive melt (magma mixing) and self-mixing in andesites, while in basalts it

may be caused by rapid decompression and repetitive self-mixing events. The fact that some of the Karapınar basalts contain plagioclase glomerocrysts and the presence of broken olivine crystals proves the decompression effect accompanied with the recharge events in the formation of sieve textured plagioclases (Renjith, 2014).

4. Conclusions and Recommendations

Regarding Fe-Mg content, plagioclase phenocrysts from the magma segregation enclaves are more primitive than those from the andesitic host rock. They may be crystallized at an early stage in the magma chamber, and have been brought into the andesitic host-rock by convection in the magma chamber. Moreover, in basaltic rocks, some of the plagioclase phenocrysts have very low Anorthite, Fe, Mg, Ca contents showing that they could not be formed in a mafic magma. They are probably xenocrysts plucked from the wall rock during magma arising. Reverse and oscillatory zonings are common in plagioclases belonging to both the host-rock and their enclaves. However, in some plagioclases showing reverse and oscillatory zoning, disequilibrium textures such as fine/coarse-grained sieve textures, dusty sieve texture indicating long-term dissolution are apparently observed. Moreover, the coexistence of the crystals with different textures cannot be explained by a unique disequilibrium process. All this suggests the existence of complex processes in the magma chamber. Considering the textural and chemical properties of the minerals from the Karacadağ Karapınar Volcanic Units, the formation of reverse and oscillatory zoning (repeated or not), and the presence of the different type of the sieve textures are generated by dominantly repeated and multiple recharging processes (magma mixing/self-mixing) in the magma chamber combined with decompression. Open system magmatic processes (i.e. recharging/assimilation) seem to play an important role in the evolution of the investigated volcanic rocks

5. Acknowledge

This study is part of the Ph.D. thesis of the first author and funded by Selçuk University ÖYP project number 2016-ÖYP-041. We thank Prof. Dr. Yusuf Kağan Kadıoğlu and Dr. Kıymet Deniz for realizing the EPMA analyses.

References

- Brophy, J., Dorais, M., Donnelly-Nolan, J., & Singer, B. (1996). Plagioclase zonation styles in hornblende gabbro inclusions from Little Glass Mountain, Medicine Lake Volcano, California: Implications for fractionation mechanisms and the formation of composition gaps. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 126, 121-136. <https://doi.org/10.1007/s004100050239>
- Castro, A. (2001). Plagioclase morphologies in assimilation experiments. Implications for disequilibrium melting in the generation of granodiorite rocks. *Mineralogy and Petrology*, 71(1-2), 31-49.
- Couch, S., Sparks, R., & Carroll, M. (2001). Mineral disequilibrium in lavas explained by convective self-mixing in open magma chambers. *Nature*, 411(6841), 1037.
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (1963). *Rock-forming Minerals: Vol. 4: Framework Silicates*. Longman.
- Deniz, K., & Kadioğlu, Y. K. (2019). Investigation of feldspar raw material potential of alkali feldspar granites and alkali feldspar syenites within Central Anatolia. *Maden Tetkik Ve Arama Dergisi*, 158(158), 265-289.
- Dogan-Kulahci, G. D., Temel, A., Gourgaud, A., Varol, E., Guillou, H., & Deniel, C. (2018). Contemporaneous alkaline and calc-alkaline series in Central Anatolia (Turkey): Spatio-temporal evolution of a post-collisional Quaternary basaltic volcanism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 356, 56-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.02.012>
- Duda, A., & Schmincke, H.-U. (1985). Polybaric differentiation of alkali basaltic magmas: evidence from green-core clinopyroxenes (Eifel, FRG). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 91(4), 340-353.
- Gill, J. B. (1981). *Orogenic Andesites and Plate Tectonics* (Vol. 16). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1017/S0016756800026911>
- Ginibre, C., Kronz, A., & Wörner, G. (2007). Crystal Zoning as an Archive for Magma Evolution. *Elements*, 3(4), 261-266. <https://doi.org/10.2113/gselements.3.4.261>
- Ginibre, C., & Wörner, G. (2007). Variable parent magmas and recharge regimes of the Parinacota magma system (N. Chile) revealed by Fe, Mg and Sr zoning in plagioclase. *Lithos*, 98(1), 118-140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.03.004>
- Ginibre, C., Wörner, G., & Kronz, A. (2002). Minor- and trace-element zoning in plagioclase: implications for magma chamber processes at Parinacota volcano, northern Chile [journal article]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143(3), 300-315. <https://doi.org/10.1007/s00410-002-0351-z>
- Humphreys, M. C. S., Blundy, J. D., & Sparks, R. S. J. (2006). Magma Evolution and Open-System Processes at Shiveluch Volcano: Insights from Phenocryst Zoning. *Journal of Petrology*, 47(12), 2303-2334. <https://doi.org/10.1093/petrology/egl045>
- Huppert, H. E., Sparks, R. S. J., Whitehead, J. A., & Hallworth, M. A. (1986). Replenishment of magma chambers by light inputs. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91(B6), 6113-6122.
- Huppert, H. E., Turner, J. S., Stephen, R., & Sparks, J. (1982). Replenished magma chambers: effects of compositional zonation and input rates. *Earth and Planetary Science Letters*, 57(2), 345-357.
- Logfren, G. (1974). *An experimental study of plagioclase crystal morphology: isothermal crystallization* (Vol. 274).
- Lunney, M. (2002). *Andesite magma evolution based on textural and compositional analysis of plagioclase phenocrysts of arenal volcano, Costa Rica* [Portland State University].
- Nakamura, M., & Shimakita, S. (1998). Dissolution origin and syn-entrapment compositional change of melt inclusion in plagioclase. *Earth and Planetary Science Letters*, 161, 119-133. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(98\)00144-7](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(98)00144-7)
- Nelson, T. S., & Montana, A. (1992). Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression. *American Mineralogist*, 77.
- Nixon, G. T., & Pearce, T. (1987). Laser-interferometry study of oscillatory zoning in plagioclase; the record of magma mixing and phenocryst recycling in calc-alkaline magma chambers, Iztaccihuatl Volcano, Mexico. *American Mineralogist*, 72(11-12), 1144-1162.
- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515.
- Pearce, T. H. (1994). Recent Work on Oscillatory Zoning in Plagioclase. In I. Parsons (Ed.), *Feldspars and their Reactions* (pp. 313-349). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1106-5_8
- Perugini, D., Ventura, G., Petrelli, M., & Poli, G. (2004). Kinematic significance of morphological structures generated by mixing of magmas: a case study from Salina Island (southern Italy). *Earth and Planetary Science Letters*, 222(3), 1051-1066. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.03.038>
- Reid, M. R., Schleiffarth, W. K., Cosca, M. A., Delph, J. R., Blichert-Toft, J., & Cooper, K. M. (2017). Shallow melting of MORB-like mantle under hot continental lithosphere, Central Anatolia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18(5), 1866-1888. <https://doi.org/10.1002/2016gc006772>
- Renjith, M. L. (2014). Micro-textures in plagioclase from 1994–1995 eruption, Barren Island Volcano: Evidence of dynamic magma plumbing system in the Andaman subduction zone. *Geoscience Frontiers*, 5(1), 113-126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.03.006>
- Singer, B., Dungan, M., & Layne, G. (1995). Textures and Sr, Ba, Mg, Fe, K, and Ti compositional profiles in volcanic plagioclase: clues to the dynamics of calc-alkaline magma chambers. *American Mineralogist*, 80, 776-798. <https://doi.org/10.2138/am-1995-7-815>
- Stewart, L. M., & Pearce, H. T. (2004). Sieve-textured plagioclase in dacitic magma: Interference imaging results. *American Mineralogist*, 89, 348-351. <https://doi.org/10.2138/am-2004-2-313>
- Streck, M. J. (2008). Mineral Textures and Zoning as Evidence for Open System Processes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69(1), 595-622. <https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.15>
- Streck, M. J., Broderick, C. A., Thronber, C. R., Clynne, M. A., & Pallister, J. S. (2008). *Plagioclase populations and zoning in*

- dacite of the 2004-2005 Mount St. Helens eruption: constraints for magma origin and dynamics: Chapter 34 in A volcano rekindled: the renewed eruption of Mount St. Helens, 2004-2006* [Report](1750-34). (Professional Paper, Issue. U. S. G. Survey. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/pp175034>
- Streck, M. J., Dungan, M. A., Bussy, F., & Malavassi, E. (2005). Mineral inventory of continuously erupting basaltic andesites at Arenal volcano, Costa Rica: implications for interpreting monotonous, crystal-rich, mafic arc stratigraphies. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 140(1), 133-155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.07.018>
- Streck, M. J., Dungan, M. A., Malavassi, E., Reagan, M. K., & Bussy, F. (2002). The role of basalt replenishment in the generation of basaltic andesites of the ongoing activity at Arenal volcano, Costa Rica: evidence from clinopyroxene and spinel [journal article]. *Bulletin of Volcanology*, 64(5), 316-327. <https://doi.org/10.1007/s00445-002-0209-2>
- Streck, M. J., Leeman, W. P., & Chesley, J. T. (2007). High-magnesian andesite from Mount Shasta: A product of magma mixing and contamination, not a primitive melt: comment and reply: reply. *Geology*, 35(1), e150-e150. <https://doi.org/10.1130/g24356y.1>
- Tomiya, A., & Takahashi, E. (2005). Evolution of the Magma Chamber beneath Usu Volcano since 1663: a Natural Laboratory for Observing Changing Phenocryst Compositions and Textures. *Journal of Petrology*, 33.
- Tomiya, A., & Takahashi, E. (2005). *Evolution of the Magma Chamber beneath Usu Volcano since 1663: a Natural Laboratory for Observing Changing Phenocryst Compositions and Textures* (Vol. 46). *Journal of Petrology*. <https://doi.org/10.1093/petrology/egi057>
- Tsuchiyama, A. (1985). Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite, and origin of dusty plagioclase in andesites [journal article]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 89(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/bf01177585>
- Ustunisik, G., & Kilinc, A. (2011). The role of fractional crystallization, magma recharge, and magma mixing in the differentiation of the Small Hasandag volcano, Central Anatolia, Turkey. *Lithos*, 125(3-4), 984-993. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.05.013>
- Vance, A. J. (1965). *Zoning in Igneous Plagioclase: Patchy Zoning* (Vol. 73). *Journal of Geology*. <https://doi.org/10.1086/627099>
- Vance, J. A. (1969). On synneusis [journal article]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 24(1), 7-29. <https://doi.org/10.1007/bf00398750>
- Viccaro, M., Giacomoni, P., Ferlito, C., & Cristofolini, R. (2009). Tracking magma dynamics at Mount Etna from plagioclase textures and compositional zoning. *Lithos*.
- Viccaro, M., Giacomoni, P. P., Ferlito, C., & Cristofolini, R. (2010). Dynamics of magma supply at Mt. Etna volcano (Southern Italy) as revealed by textural and compositional features of plagioclase phenocrysts. *Lithos*, 116(1), 77-91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.12.012>



The Development of Renewable Energy in Turkish Electricity Markets

Cem Şahin^{1*}

^{1*} TUBITAK MRC, Energy Institute, Electrical Power Tech. Dept., Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6464-5225), cem.sahin@tubitak.gov.tr

(First received 9 March 2021 and in final form 27 June 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.893539)

ATIF/REFERENCE: Şahin, C., (2021). The Development of Renewable Energy in Turkish Electricity Markets. *European Journal of Science and Technology*, (25), 238-246.

Abstract

The development of different Renewable Energy (RE) Sources (RES) technologies in the Turkey Electric Energy Sector have been discussed and future targets from different policy documents are analyzed. Different mechanisms for energy market entry for RES are explained and final comments to support the increase of RES penetration have been proposed. It is pointed out that the RES capacity in the long run should be strongly determined, network capacity should be enhanced, grid integration and market entry mechanisms should be redefined in order to reach a sustainable RES development in Turkey in the presence of volatile global economic circumstances and dependency of the country to external primary fuel resources.

Keywords: Renewable Energy Sources, Turkey Electricity Markets.

Türkiye Elektrik Piyasalarında Yenilenebilir Enerjinin Gelişimi

Öz

Türkiye Enerji Sektöründe farklı Yenilenebilir Enerji (YE) Kaynakları (YEK) teknolojilerinin gelişimi tartışılmış ve farklı politika belgelerinden gelecek hedefleri analiz edilmiştir. YEK'lerin enerji piyasasına girişi için farklı mekanizmalar açıklanmış ve RES kapasite artışınının desteklenmesi için öneriler getirilmiştir. Türkiye'de sürdürülebilir bir RES gelişimi sağlamak için uzun vadede RES kapasitesi güçlü bir şekilde belirlenmeli, şebeke kapasitesi arttırılmalı, şebeke bağlantı süreci ve enerji piyasalarına giriş mekanizmaları yeniden tanımlanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, Yenilenebilir Enerji, Elektrik Piyasaları.

* Corresponding Author: cem.sahin@tubitak.gov.tr

1. Introduction

Energy sector is undergoing a transition aiming to reach a sustainable and carbon-free form in which the Renewable Energy (RE) Sources are at the center. Share of RE in the global electricity sector is expected to perform the fastest growth in the energy sector reaching 33% by 2025 (IEA Electricity, 2020) while the ratio was 24.54% in 2017 (IEA Data and Statistics, 2020). The global electricity production was realized as 25 747 TWh by the end of the year 2017, the highest RE contribution belongs to hydro with a ratio of 16.25% (IEA Data and Statistics, 2020). RE technologies are also widely utilized for supplying the heat demand as well as electricity reaching an annual total of 10% excluding the conventional biomass by the end of 2018 (IEA Renewables, 2019). The countries leading the RE sector in EU, namely Germany, Spain, and United Kingdom, realizing their RE targets via strong policies and supporting action plans. Particularly, Germany and Spain applied ambitious policies including high incentives aiming to develop their domestic energy equipment manufacturing industry. These resulted with increase of the installed capacity to high values in relatively short period. The decrease in the equipment costs with the technological advances and the burden of the high incentives to public finance lead to re-evaluation of these policies (MENR Strategic Plan, 2017).

Turkey, as a developing country took major steps in order to increase the penetration of RE in coherence with the global efforts. The total installed generation capacity of Turkish Electricity Network was increased to 95 709 MW by the end of December 2020. The share of RE capacity is 51.6 % when hydroelectric power plants with dam capacity is considered, and 27.7% when only the run-off hydroelectric river plants are considered among others, while the share of RE in the annual generation of 305 TWh is 42.3 % by the end of 2020, being ahead of world ratio (YTBS, 2021). The types of RE could be counted as hydroelectric, solar PV, wind, geothermal and biomass based power plants. Ministry of Energy and Natural Resources (MENR) and Ministry of Environment and Urbanization established action plans and different targets in different strategy and policy documents to address energy efficiency, RE and climate change in order to increase the utilization of RE beginning from 2010. These are; National Climate Change Strategy issued in 2010, National Climate Change Action Plan of Turkey issued in 2012, National Renewable Energy Action Plan issued in 2014, Intended Nationally Determined Contribution to UN Framework Convention on Climate Change issued in 2015, and National Energy Strategic Plan issued 2015 and revised in 2017. A total RES share of 30% in the total generation capacity, a decrease of 20% in energy intensity in order to reach back 2010 levels and commissioning of new nuclear power plants were targeted for the year 2023 in these documents. RES share target was already achieved with the support of access to various diverse RE sources resulting from the countries' geographical position. The total installed RES capacity nearly doubled in the last decade with the support of the Renewable Energy Support Mechanism (YEKDEM) which enables the RES generators to register to either feed-in-tariff with local content support or day-ahead market. However, several strategy documents namely given above, include different technology specific targets which create uncertainty concerning future ambitions. The country hosts a substantial RE potential including hydro, wind and solar that

e-ISSN: 2148-2683

shall be supported with further actions (IEA Energy Policies of IEA Countries, Turkey, 2016).

This paper takes a closer look at the renewable energy sector in Turkey, discusses the share of RE in Turkish Electric Energy sector and potential development scenarios. A number of strategy documents, which have different priorities and objectives are issued in the last decade to propose diverse action plans and targets. This study aims to describe the background of the RES sector in connection with the Energy Markets, investigate different strategy documents from government authorities and list different future target proposals from these, and finally suggest a coordinated set of action plans considering coordination of announced targets, better resource utilization, redefinition of network connection criteria especially for solar PV and wind power as distributed generation, and strengthening of network infrastructure in order to accelerate and sustain private sector investments.

Section 2 discusses the RE entrance methods to electric energy markets. Turkey RE sector overview is given in Section 3. Section 4 presents issues concerning development of RE. The concluding remarks, summarizing the content, are given in Section 5.

2. Renewable Energy in Turkey Energy Markets

2.1. Electric Energy Markets in Turkey

Turkish Electricity Authority (TEK), that was established in 1970, was the only institution in a vertically integrated environment until 1984. Build-Operate-Transfer (BOT), Build-Own-Operate (BOO) and Transfer of Operating Rights (TOOR) methods provided inclusion of private sector in 1984. TEK was divided into two governmental companies including Turkish Electricity Generation-Transmission (TEAS) and Turkish Electricity Distribution Company (TEDAS) in 1993. TEAS was subsequently divided into three different companies namely; EUAS, responsible for generation, TEIAS, responsible for transmission, and TETAS, responsible for wholesale trade with enactment of Electricity Market Law issued in 2001. The privatization of ownership followed when the government initiated a privatization plan of other state-owned electricity sector companies, except for TEIAS. The law also enabled the formation of Energy Market Regulation Agency (EMRA), which would oversee the electric power, petroleum, LPG and natural gas markets via performing functions of tariff setting, licenses issuing, and assuring competition.

Electric Energy Markets were initiated with the establishment of Market Financial Settlement Center (PMUM) under TEİAŞ in 2006 initiating Balance and Settlement Market. Day Ahead Planning Mechanism and Hourly Pricing and Settlement started in 2009. The two different Energy Markets; Day Ahead Energy Market and Balance and Settlement Markets was active by then, and this was followed by the initiation of Day Ahead Energy Market and Warrant and Down-Payment mechanisms in 2011. Enactment of the Law on the Use of Renewable Energy Resources for the Purpose of Generating Electric Energy, number 5346, started the Renewable Energy Support Mechanism (YEKDEM), and Intraday Market was initiated as the third Energy Market in the same year. Energy Markets Operation A.Ş. (EPIAŞ) was officially established in 2015, to operate, as a separate company to run the mentioned

three Energy Exchange Markets apart from TEİAŞ (EPIAŞ, 2020). Moreover, synchronous connection of Turkey and European transmission systems was realized through the European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) the same year. In this context, Turkey gained access to European Electric Energy Markets and improved the regional energy security with the interconnection.

2.2. Renewables and Energy Markets

Three models are in place for the Turkey RES to participate electric energy markets. These are unlicensed, licensed, and the Renewable Energy Resource Zone (YEKA) models (Presidency of the Republic of Turkey Investment Office, 2018).

Unlicensed Model

A RES with an installed capacity lower than 5 MW does not require a license and functions under specific Renewable Energy Support (RES) tariffs (YEKDEM) according to the law numbered 5346 for the first ten years of the operation. The RES facility has to be constructed in the same place with the consumption facility provided that the RES capacity does not exceed installed contract power. Consequently, unlicensed PV facilities can only be set up as rooftop or facade installation. The local content support for the unlicensed facilities is cancelled due to the recent changes in the legislation.

Licensed Model

A majority of power plants which have over 5 MW installed capacity are subject to licensed model. The wind and solar power investors have to apply EMRA for pre-license, with an attachment of 1-year period on-site metering data belonging to the previous five years, in the initial stage depending on the provincial capacities announced beforehand by TEİAŞ. Investors interested with the same grid connection points/regions shall enter a reverse auction, which is a process of reduction from the RES support YEKDEM tariffs, and the winning party is subject to the reduced tariff for the first ten years of operation. Licensed generators are subject to local content support for the facilities identified in The Law No. 5346 without any bidding process. Wind and solar power plants are the only types that are subject to capacity allocation mechanism while the other RES types do not enter capacity tenders (Presidency of the Republic of Turkey Investment Office, 2019).

Renewable Energy Resource Zone (YEKA)

Unlicensed model supported the expansion of especially Solar PV projects as will be discussed in the next Section. However, the essence of YEKDEM is to compensate one's own consumption and not very suitable for obtaining large RE zones and establishments. Application of major investments in the areas that Ministry of Energy and Natural Resources (MENR) had determined via expert knowledge and the synchronous development of the electricity network is an appropriate strategy in terms of energy management as well as the approval processes (PwC, 2016). MENR strategic plan mentioned YEKA as a new perspective even before the starting of the program in 2017. The policies and regulations executed by the government under YEKA title aims the following main objectives (Thomson and Derrick, 2019):

- The commissioning of renewable energy resources in larger units would be more efficient and effective through

identification of renewable energy zones on the public, private, or treasury owned land.

- It will be possible to increase the share of domestic, locally manufactured equipment in renewable electricity generation more rapidly by YEKA projects. Moreover, new manufacturing facilities would be constructed. A fast increase in the energy produced from domestic solar and wind power plants would be achieved. The government would enhance support for all types of domestic energy sources. The wind and solar power plant components to be produced by the domestic facilities would be purchased by the YEKA facilities for two years. A YEKA and its electrical connection capacity utilization rights can be offered under "Allocation on the Condition of Local Manufacturing" mechanism in which the investor is encouraged to construct its own facilities and manufacture components for its own generating plant and local market, or "Allocation on the Condition of Using Locally-Manufactured Equipment" mechanism in which the investor purchases components from already existing domestic suppliers. Both methods would encourage domestic and locally manufactured RES plant components sector.

- A potential energy crisis would be avoided with domestic production and external dependency would be mitigated. National current account deficit includes a large share resulting from imported primary fuel resources. Domestic and national energy sector would be an instrument to reduce current account deficit.

YEKA pricing mechanism is different from the licensed model in the sense that a reduction bidding process starting from a certain upper limit considering both the feed-in-tariff and local content support. Consequently, the winning party is not entitled to additional local content support. Moreover, the time period which is determined as 15 years for the first two YEKA tenders extends beyond feed-in-tariff period which is currently ten years.

3. Renewable Energy Sector Overview

The previous section aimed to explain the RE entrance methods to national electric energy markets. This section discusses the contribution of different RE technologies to installed electricity generation capacity, and annual electric energy generation of Turkey.

3.1. Wind Energy

The installed capacity of Wind Power Plants (WPP) reached 7 615 MW as of July 2019 with a number of 3 155 installed turbines across the 183 WPPs in the country (YTBS, 2021). Annual WPP generation was realized as 20 016 GWh which was the 6.6% of total annual national generation by the end of year 2018 (TWEA, 2018). The cumulative installations for WPPs in Turkey are given in Figure 1 (YTBS, 2021).

Nearly all of the WPPs (99.86% of the total capacity) are operating with a license. The remaining capacity, which is negligible, does not have a license, operates under Energy Markets Law no 6446, clause 14, and associated with YEKDEM (law numbered 5346).

In addition to licensed and unlicensed WPP generation, a YEKA tender was performed in August 2017. 1000 MW of WPP capacity, located at 5 different regions existing in 12 different cities, was tendered and a price of US\$3.48 ct/KWh, which is

lower than the global average, was achieved. A second WPP YEKA was performed in May 2019 tendering 4 different regions

each with 250 MW capacities across the country resulted with prices ranging between US\$3.53-4.56 ct/KWh

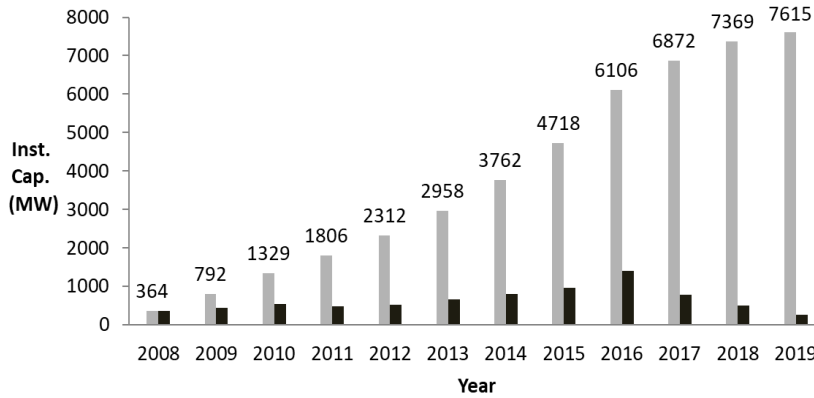


Figure 1. Cumulative Installations for Wind Power Plants in Turkey (Gray: Total Installed Capacity, Black: Annual Installation)

3.2. Solar PV Energy

A total capacity of 5 576 MW exists in 6 434 individual Solar PV Power Plants across the country as of November 2019. Annual Solar PV generation was realized as 7 485 GWh which was the 2.47% of total annual national generation by the end of year 2018. The cumulative installations for WPPs in Turkey are given in Figure 2 (YTBS, 2021).

The 97.5% of Solar PV Power Plants operate without a license under Energy Markets Law no 6446, clause 14, and associated with YEKDEM (law numbered 5346). This is the opposite situation compared to WPPs since installation and commissioning of small sized Solar PV Power Plants is feasible under existing YEKDEM, which is not the case for the former. YEKDEM is not favorable when the energy market prices are high and the USD currency is relatively low which was the case

in years 2010-2015. It can be observed from Figure 2 that the installed PV capacity exhibited a rise starting from 2016 due to increased USD currency as shown in Figure 3, relatively low wholesale electricity market prices and feasibility of Solar PV investments with lower capacities suitable for YEKDEM (PwC, 2015).

In addition to YEKDEM, a YEKA tender was performed in March 2017. 1 000 MW of solar PV capacity at Konya/Karapınar region was tendered and a price of US\$ 6.99 ct/KWh, which was lower compared to similar global tenders was achieved. A second solar PV YEKA auction was announced in October 2018 and the bidding period was planned to continue until the end of January 2019, but the auction was then canceled. The announcement of Mini YEKA tenders each having a capacity of 40-50 MW is underway (MENR, 2019)..

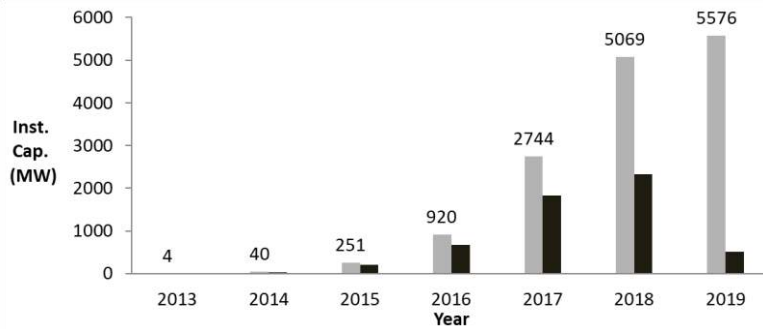


Figure 2. Cumulative Installations for Solar PV Power Plants in Turkey (Gray: Total Installed Capacity, Black: Annual Installation)



Figure 3. USD- TRY Currency (Solid Trendline: 2013-2016, Dotted Trendline: 2016-2019)

3.3. Hydroelectric Energy

A total of 28 457 MW capacity exists in 669 individual Hydroelectric Power Plants across the country as of November 2019. Annual generation was realized as 59 937 GWh which was the 19.76% of total annual national generation when the total

Hydroelectric capacity was considered, and 18 940 GWh which was the 6.24% of total annual national generation when only the Run-off River capacity was considered by the end of year 2018. The cumulative installations for total Hydroelectric and Run-Off River Hydroelectric Power Plants in Turkey are given in Figure 4 and Figure 5 respectively (YTBS, 2021)

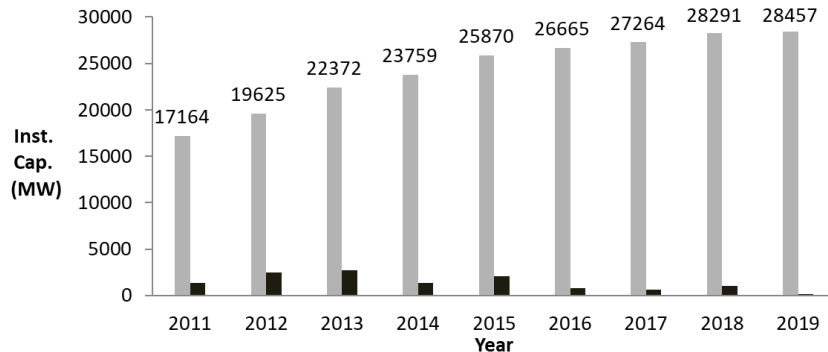


Figure 4. Cumulative Installations for Hydroelectric Power Plants in Turkey (Gray: Total Installed Capacity, Black: Annual Installation)

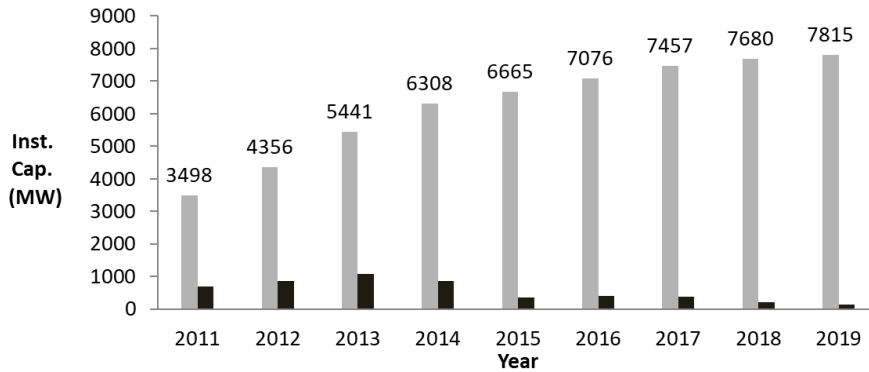


Figure 5. Cumulative Installations for Run-off River Hydroelectric Power Plants in Turkey (Gray: Total Installed Capacity, Black: Annual Installation)

3.4. Biomass Energy

A total capacity of 707 MW exists in 158 individual Biomass Power Plants across the country as of November 2019. Annual generation of Biomass Power Plants was realized as 2 586 GWh which was the 0.85% of total annual national

generation by the end of year 2018. The cumulative installations for Biomass Power Plants in Turkey are given in Figure 6 (YTBS, 2021).

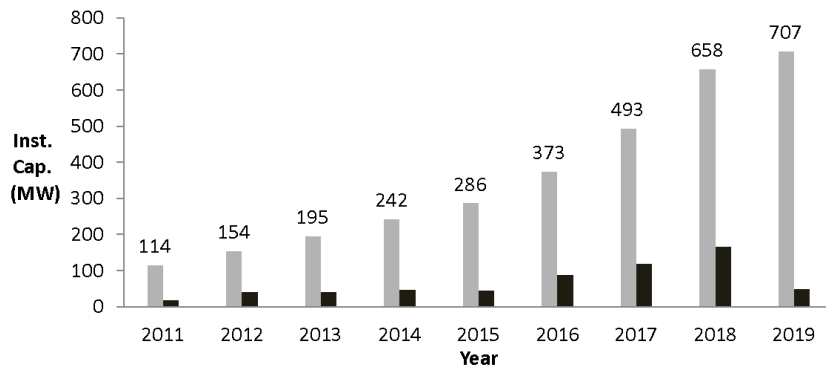


Figure 6. Cumulative Installations for Biomass Power Plants in Turkey (Gray: Total Installed Capacity, Black: Annual Installation)

3.5. Geothermal Energy

A total capacity of 1 402 MW exists in 52 individual Geothermal Power Plants across the country as of November 2019. Annual Geothermal generation was realized as 7 611 GWh which was the 2.51% of total

annual national generation by the end of year 2018. The cumulative installations for WPPs in Turkey are given in Figure 7 (YTBS, 2021).

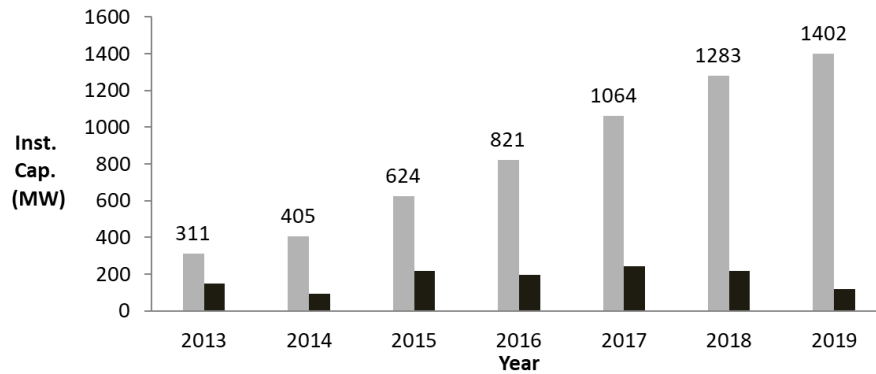


Figure 7. Cumulative Installations for Geothermal Power Plants in Turkey (Gray: Total Installed Capacity, Black: Annual Installation)

3.6. Plans and Strategy Documents Concerning RE Development and Targets

National Climate Change Action Plan of Turkey (NCCAP) (2012):

National Climate Change Strategy (NCCS) (Ministry of Environment and Urbanization, 2010) for Turkey was announced by the Higher Planning Council (obsolete and replaced by Strategic Budget Chair of Presidency of Republic of Turkey as of 2018) and took effect in May 3rd, 2010. NCCS provides a basis for the NCCAP which was published in 2012. The aim of the plan is to coordinate climate-change related concerns within development policies, determine action plans to increase energy efficiency, increasing the use of RES in order to participate in the international efforts that are carried out to prevent and mitigate climate change considering the special circumstances of the country. The plan is organized around nine themes namely; Energy, Building, Industry, Transportation, Waste, Agriculture, Land Use and Forestry, Crosscutting Issues and Adaptation to Climate Change (Ministry of Environment and Urbanization, 2012).

The listed objectives were determined under the Energy theme in order to achieve the objective of increasing the share of clean energy in energy production and:

- Ensuring an increase in the share of RE in electricity generation
- Increase of RES utilization with development of the capacity by 2015
- Ensuring RES related technological development by 2020

The following objectives were determined under the Building theme in order to increase the RES utilization in buildings:

- Generation of financial support mechanisms in order to provide support for energy efficiency, RES and Energy Performance in Buildings until the end of 2013
- A minimum 20% of the yearly energy utilization in new buildings to be supplied from RES by the year 2017

Adaptation theme aims planning of RES concerning their impact on climate change and sustainable ecosystem services having an objective of resiliency for climate change.

As a foundation of the NCCAP, the NCCS document published in 2010 targets 30% share of renewable energy in total electricity generation capacity, fully utilization of technical and economic hydroelectric potential which is 48 183 MW in total; 28 233 MW currently under operation, 4 411 MW under

construction and 15 539 MW to be constructed as stated in (General Directorate of State Hydraulic Works, 2018), 20 000 MW of wind and 600 MW of geothermal electricity generation capacity, and support for solar energy generation by 2023.

National Renewable Energy Action Plan (NREAP) (2014):

The Directive 2009/28/EC of The European Parliament and of The European Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources requires determination of strong targets for all Member States, and the development of national action plans targeting high shares of energy from renewable sources consumed in electricity, heating and cooling, and electricity sectors in 2020 (MENR, 2014). General Directorate of Renewable Energy (obsolete and replaced by General Directorate of Energy Affairs as of 2018) has carried out the NREAP for the period 2013-2023, originating from the methodology defined in the EC directive. NCCAP, which was introduced above, was already one of the references of NREAP other than three MENR strategy documents.

The plan includes envisaged contribution of each RES technology to binding 2023 targets and a reference trajectory of RES energy shares for transportation, electricity, and heating and cooling sectors. 34 000 MW of hydropower is targeted considering the emerging trends for this technology. A growing trend based on the evolution of electricity demand is proposed for the other RES and at least 20 000 MW of wind power, 5 000 MW of solar power, 1 000 MW of biomass power, an updated 1 000 MW of geothermal power is targeted.

Intended Nationally Determined Contribution to UN Framework Convention on Climate Change (INDC) (2015):

Renewable energy is referred to under the measures of the NCCAP 2011-2023, the Energy Efficiency Strategy 2012-2023 and the MENR Strategic Plans for the periods 2010-14 and 2015-19. Besides to that, Turkey's INDC includes targets of 16 000 MW of WPP and 10 000 MW for Solar PV by 2030. MENR announced INDC in late 2015 as a preparation of the Paris COP21 Conference.

National Energy Strategic Plan (NESP) (2015-2019):

Ministry of Energy and National Resources of Republic of Turkey (MENR) issued a strategic plan covering 2015-2019 period and this policy document is updated in 2017 due to negative impact of large decrease in global petroleum prices on energy markets and developments in the neighbor countries in the period of 2015-2016. Energy Supply Security, Energy Efficiency and Energy Saving, Good Governance and Stakeholder Interaction, Regional and International Efficiency,

Technology, R&D and Innovation, Improvement of the Investment Environment, Raw Material Supply Security, Efficient and Effective Use of Raw Materials themes were covered in the plan. These eight themes were studied in such a way to achieve a balance between different sectors and to reflect the relation and synergy between energy and natural resources. A ninth theme; economic, social and environmental sustainability was separately designed as a frame topic encapsulating the former eight ones (MENR Strategic Plan, 2017).

It is pointed out under Energy Supply Security theme that Turkey has substantial potential in RE Sources to be utilized for both electric and heat energy production, however improvement of financial capabilities, legislation and transmission infrastructure and investor awareness have to be improved. Different yearly capacity targets for RE sources given in Table 1 were appointed under the Energy Supply Security theme.

The strategies associated with this theme could be listed as below:

- Development of RE monitoring and forecast systems as well as potential atlases both for Wind and Solar PV resources
- The continuation of YEKDEM and enhancement of the infrastructures in order to support the integration of RE sources to the grid
- Determination and leveling of YEKA zones

Energy Efficiency and Energy Saving is another theme which is also addressed by policies of many countries. Commissioning of energy storage systems to ensure on-site consumption of RES was targeted under Energy Efficiency and Energy Saving target. The strategies associated with this theme could be listed as below:

- Support of production facilities based on RES, cogeneration or micro cogeneration systems, central and regional heating and cooling systems, and preparation of a legislative infrastructure for the heat market.

- Revision of the relevant legislative infrastructure for on-site production as a facilitator in terms of permits and other administrative processes, in order to expand the decentralized electrical energy production based on renewable energy sources, cogeneration or micro cogeneration and similar systems,
- Strengthening of the network infrastructure in this direction

Different targets for the same RES technology, contradicting for some specific years were determined in different strategy documents as shown in Table 1. Hydroelectric capacity was determined as 48.1 GW in NCCAP, while the target is decreased to 34 GW in NREAP for the year 2023 and determined as 32 GW for 2019 in MENR NESP. Wind Power target was kept identical as 20 GW in NCCAP and NREAP for 2023 while it was decreased to 16 GW in INDC even for a further year 2030 and determined as 10 GW for 2019 in MENR NESP. Geothermal target was given as 600 MW in NCCAP, raised to 1 GW in NCCAP and NREAP both for the year 2023, and determined as 1,3 GW for 2019 in MENR NESP. Solar PV target was first given as 5 GW in NREAP for the year 2023, raised to 10 GW in INDC for the year 2030, determined as 3 GW in MENR NESP for the year 2019. Biomass target was only given in NREAP as 1 GW for 2023 and updated as 700 MW for 2019 in MENR NESP.

The determined targets in the MENR NESP for Geothermal, Biomass and Solar PV installation were achieved, nearly even doubled for Solar PV, while Wind and Hydroelectric installations were lagged behind when the determined targets are compared with actual installations given in Figure 1 to Figure 7. This might be due to higher investments cost of these with respect to other RE sources. Moreover, different strategy documents were prepared in different years in which the national and global situation differs. However, long term and ambitious targets should be determined in order to give clear signals to the sector and guarantee a healthy RES sector development.

Table 1. Different RE targets and actual 2019 realization

Strategy Document (Issue Year)	Target Year	Hydroelectric (MW)	Wind Power (MW)	Geothermal (MW)	Solar (PV) (MW)	Biomass (MW)
NCCAP (2012)	2023	48 183	20 000	600	-	-
NREAP (2014)	2023	34 000	20 000	1 000	5 000	1 000
INDC (2015)	2030	-	16 000	-	10 000	-
MENR NESP (2015)	2013	22 289	2 759	311	-	237
	2015	25 000	5 600	360	300	380
	2017	27 700	7 000	700	1 800	540
	2019	32 000	10 000	1 300	3 000	700
Actual Realization (2019)	2019	28 547	7 615	1 402	5 576	707

4. Concerns Related to Development of Renewable Energy

The previous sections discussed the participation of different types of RE into the Energy Markets and existing situation regarding each of these sectors. This part discusses the issues and concerns associated with the future development.

4.1 Resolving Differences of Future Targets

Turkey determined a number of measurable targets however a legally binding target fixed in legislation does not exist. The target defined in NCCS and NCCAP was an ambitious share of 30% of RE generation by 2023 and is already achieved by 2015. NREAP and the INDC targets have differences. These should be resolved and a coherence should be achieved for the future targets that are to be published by different government and private sector entities.

4.2 Determination of RES in the Long Run

A long term target is required to go beyond 2030 other than INDC. Turkey met its 2009 dated MENR and 2010 dated NCCS RES targets of 30% capacity ratio by 2023, already by the year 2015. New long term targets shall be established in order to encourage RES investments in the energy sector. In spite of the fact that the government has already secured 2023 Solar PV and geothermal targets, formal announcements and legislative proposal shall be made. The Turkey economy is set to grow continuously even the global economic slowdown is considered, and determination of ambitious long term targets would promote further investments to ensure the country benefits from good competitiveness of RES

4.3 Grid Integration Rules, Network Infrastructure and Licensing

The grid connection rules and electricity transmission and distribution system connections limit the private sector and utilization of diverse domestic RE potential, notably for wind and solar power. Turkey energy sector includes two different energy markets and regulatory frameworks for licensed and unlicensed operators. Unlicensed market entry is widely applied with all developers to avoid license procedures. The increasing number of unlicensed but relatively large RES capacity brings power system operational and regulatory risks since monitoring of a large number of relatively small sized RES plants is a challenge. Moreover, the extensive distribution of licenses led to the secondary trading of licenses and created delays in the actual deployment of the facilities. Definition of YEKA mitigated the situation, however, a long term and sustainable YEKA strategy shall be announced.

4.4 Redesign of Market Mechanisms for RES

A Generation Company that owns RES has the option to choose either YEKDEM or sell directly into the electricity wholesale day-ahead market in each year. Wholesale market is less attractive in the country since the electricity prices declined in the recent years due to economic developments and slowed demand. It is advantageous to rethink YEKDEM tariff and develop it into a longer-term addition on top of market prices in times of the second phase of a more accelerated RES deployment. YEKDEM tariff support has a short-term ten-year duration and subject to significant currency rate risks, since it is referenced to US dollars.

4.5 Better Utilization of Hydroelectric Potential

To date, the development of renewables has resumed with many of the RES. Solar power exhibited an acceleration due to advantages of YEKDEM with respect to wholesale prices in the recent years. The potential of wind power and hydroelectric are high in Turkey while 15 539 MW of capacity is still untapped from a total of 43 183 MW hydroelectric capacity as discussed above. One of the underlying reasons is the deficiency of available technology to be applied to various conditions while the other is the public acceptance issues. There are a number of studies aiming to increase generated energy from hydroelectric power plants (HEPP) by extending operational regimes and efficiencies and application of these technologies might improve utilization. Hydroflex (HYDROFLEX, 2019) aims to increase flexibility of HEPP by increasing on the operation interval of Francis turbines, the configuration of synchronous generators and frequency converters that allow for variable speed turbine operation. FITHydro (FITHydro, 2019) project aims to develop low-cost environmental solutions and strategies to avoid individual fish damage and enhancing population developments. The objective of the HYPERBOLE (HYPERBOLE, 2019) project is to enhance hydropower plant value by extending the flexibility of its operating range, while also improving its long-term availability. National MİLHES (TÜBİTAK MRC, 2020) project aims to develop hydroelectric power plant components utilizing domestic design and manufacturing capacity of Turkey.

4.6 Requirement for Supporting Technologies

The integration of more RES into generation fleet brings extra challenges in means of maintaining supply and demand balance. The uncertain nature of RES requires extensive generation reserve when a certain ratio of installed capacity is reached. Aged conventional generation capacity might fail to cope with continuously variable operation regime and might not fulfill the required ramp-up and ramp-down capabilities. This requires new technologies such as demand response, increased flexible generation reserves and electricity/mechanical storage to be integrated into the electricity markets and system due to the volatility and intermittent character of RES. This shall be supported with transmission and distribution systems grid expansion.

5. Conclusions

The development of different RES technologies in the Energy Sector of Turkey has been discussed and future targets from different policy documents are noted. Different mechanisms for energy market entry for RES are explained and final comments to support the increase of RES penetration have been discussed. It is seen that Geothermal, Biomass and PV targets were achieved earlier than anticipated in the strategy documents due to lower investment cost of these technologies compared to Wind and Hydroelectric Power Plants. The issues of determination of long term RES targets, grid integration rules, network infrastructure and licensing, redesign of market mechanisms, better utilization of hydroelectric potential and requirement of support technologies are highlighted.

References

- International Energy Agency (2020) Renewable Electricity, <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/renewable-electricity-2#abstract>.
- International Energy Agency (2020) Data and Statistics, <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD>
- International Energy Agency (2019) Renewables 2019 -Market analysis and forecast from 2019 to 2024, <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>
- Ministry of Energy and Mineral Resources (2017) 2015-2019 Strategic Plan, https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2015_2019_Stratejik_Plani.pdf
<https://ytbsbilgi.teias.gov.tr> Access Date: 07.03.2021, Topic: *TEİAŞ YTBS (Load Dispatcher Information System) Energy Statistics*
- International Energy Agency (2016)“Energy Policies of IEA Countries, Turkey, 2016 Review, www.iea.org
<https://www.epias.com.tr/epias-kurumsal/hakimizda/> Access Date: 07.03.2021, Topic: *EPİAŞ/History*,
- Presidency of the Republic of Turkey Investment Office (2018) Turkey’s Renewable Energy Market and Investment Opportunities, <http://v1.invest.gov.tr/tr-TR/infocenter/publications/Documents/YENILENEBILIR.ENERJI.SEKTORU.pdf>
- Presidency of the Republic of Turkey Investment Office (2019) Guide to Investing in Turkish Renewable Energy Sector, <https://www.invest.gov.tr/en/library/publications/lists/invest-publications/guide-to-investing-in-turkish-renewables-energy-sector.pdf>
- Price Waterhouse Coopers (2016) YEKA Üzerine Bir Değerlendirme, <https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/enerji-altyapi-madencilik/enerji-spotlights/yeka-uzerine-bir-degerlendirme.html>
- Thomson, P., Derrick, J. (2019) *GLI-Energy*, Global Legal Group, London https://www.kilinclaw.com.tr/wp-content/uploads/2018/11/GLI_EN7_Turkey.pdf
- Turkish Wind Energy Association (TWEA) (2018) Turkish Wind Energy Statistic Report, https://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/istatistik_raporu_temmuz_2019.pdf
- Price Waterhouse Coopers (2015) YEKDEM Kapasitesi Üzerine Bir Değerlendirme, <https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/enerji-altyapi-madencilik/enerji-spotlights/yekdem-kapasitesi-uzerine.html>
- Ministry of Energy and Mineral Resources (2019) Türkiye bölgenin en büyük ve yatırım açısından en cazip ülkesidir, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Haberleri/Turkiye-bolgenin-en-buyuk-ve-yatirim-acisindan-en-cazip-ulkesidir>
- Ministry of Environment and Urbanization (2010) National Climate Change Strategy, https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editor/dosya/iklim_degi_sikligi_stratejisi_EN.pdf
- Ministry of Environment and Urbanization (2012) National Climate Change Action Plan of Turkey, https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editor/dosya/iklim_degi_sikligi_eylem_plani_EN_2014.pdf
- General Directorate of State Hydraulic Works (2018) 2019-2023 Strategic Plan, <http://bilgi.dsi.gov.tr/spland/splan4/files/assets/basic-html/index.html#3>
- Ministry of Energy and Mineral Resources (2014) National Renewable Energy Action Plan for Turkey, <http://policy.thinkbluedata.com/node/3908>
- HYDROFLEX, https://cordis.europa.eu/project/rcn/214058_en.html Access Date: 07.03.2021
- FITHYDRO, https://cordis.europa.eu/project/rcn/205921_en.html Access Date: 07.03.2021
- HYPERBOLE, https://cordis.europa.eu/result/rcn/208601_en.html Access Date: 07.03.2021
- TÜBİTAK MRC (2020) “National Design and Development of Hydroelectric Power Plant Components (MİLHES) Project Final Report”



Giriş Kısıtlı Ters Sarkaç Mekanizmasının Optimal Kontrolü

Sait Sovukluk^{1,2,*}, Mustafa Mert Ankaralı^{3, ‡}

¹ Middle East Technical University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8698-8835), sovukluk.sait@metu.edu.tr

² Teknolus Enerji Ltd. Şti., Robotik ve Yazılım Birimi, Ankara, Turkey

³ Middle East Technical University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1235-5373), mertan@metu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898753)

ATIF/REFERENCE: Sovukluk, S., Ankaralı, M.M. (2021). Optimal Control of Input Constrained Inverted Pendulum. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 247-255.

Öz

Günümüz eyleyici ve algılayıcı teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, çok farklı eyleyici ve algılayıcı kombinasyonları içeren platformlarının geliştirilmesine öncülük etmiştir. Bahsi geçen platformların potansiyellerini en iyi şekilde değerlendirebilmek amacıyla kontrol sistemlerinde yeni metotların geliştirilmesi bir gereklilik haline gelmiş ve yeni kontrol metotları modern kontrol adı altında toplanmaya başlamıştır. Modern kontrolün alt başlıklarından biri olan optimal kontrol, bilgisayarların işlem güçlerinin artmasıyla birlikte günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada klasik kontrol metotlarına kıyasla çeşitli avantajları olan optimal kontrolün alt başlıklarından dört tanesi olan sonlu ufuklu LQR, sonsuz ufuklu LQR, sonlu ufuklu MPC ve ikili mod MPC kontrolcülerinin uygulamaları incelenmiştir. Bu inceleme dijital bilgisayarların doğasına uygun olarak süreksiz zaman uzayında gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen dört kontrolcünün kontrol performanslarının gözlenebilmesi amacıyla bir ters sarkaç sistem modeli kullanılmıştır. Ters sarkaç mekanizması doğrusal olmayan, stabil olmayan ve eklem sayısından daha az sayıda eyleyiciye sahip olan yapısı sebebiyle kapsayıcı bir dinamik modeldir. Bu çalışmayı incelemesinin ardından okuyucu bu dört kontrol sistemleri arasından hangisinin hangi durumlarda nasıl uygulanması gerektiği hakkında fikir sahibi olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Süreksiz zamanlı sonlu ufuklu LQR kontrolü, süreksiz zamanlı sonsuz ufuklu LQR kontrolü, süreksiz zamanlı sonlu ufuklu MPC kontrolü, süreksiz zamanlı ikili mod MPC kontrolü, ters sarkaç mekanizması.

Optimal Control of Input Constrained Inverted Pendulum

Abstract

Rapid developments in today's actuator and sensor technologies have pioneered the development of platforms containing very different actuator and sensor combinations. In order to utilize the potentials of the platforms in the best way, it has become a necessity to develop new methods in control systems and new control methods have begun to be gathered under the name of modern control. The optimal control, which is one of the subtitles of modern control, has started to be used widely today with the increase in the processing power of computers. In this study, applications of finite horizon LQR, infinite horizon LQR, finite horizon MPC and dual mode prediction MPC controllers, which are four of the subtitles of optimal control, which have various advantages compared to classical control methods, have been investigated. This investigation was carried out in discrete time space in accordance with the nature of digital computers. An inverted pendulum system model is used to observe the control performances of the four controllers. The inverted pendulum mechanism is an inclusive dynamic model due to its nonlinear, unstable and underactuated nature. After reviewing this study, the reader will have an idea of which of these four control systems should be applied in which situations.

Keywords: Discrete time finite horizon LQR controller, discrete time infinite horizon LQR controller, discrete time finite horizon MPC controller, discrete time dual-mode prediction MPC controller, inverted pendulum.

* Sorumlu Yazar: sovukluk.sait@metu.edu.tr

1. Giriş

Klasik kontrol sistem tasarımlarının önemli bir bölümü kabul edilebilir bir sistem performansı elde edilene kadar farklı analiz metotları kullanılarak yapılan tekrarlamalı bir deneme-yanılma sürecidir. Bu tarz kapalı döngü kontrol sistemlerinde sistem performansı genellikle yükselme zamanı, aşma miktarı, bant genişliği vs. gibi kriterlerle ölçülür. Ek olarak, genellikle tek referans girdili ve tek durum çıkışlı sistemlerde kullanılan klasik kontrol metotları modern teknolojinin gerektirdiği kontrol ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalabilmektedir. Örneğin, bir uzay mekiğinin irtifa kontrolünün, harcanan yakıt miktarının minimum seviyede tutularak yapılması doğrudan klasik kontrol metotlarıyla sağlanabilecek bir yöntem değildir. Dijital bilgisayarların yaygınlaşması ve işlem güçlerinin artmasıyla birlikte modern teknoloji ihtiyaçlarını karşılayan, çok referans girdili ve çok durum çıkışlı sistemlerin kontrolü için uyumlu, uzay mekiğindeki örnek gibi kaynak kullanımını minimumda tutabilecek bir kontrol yöntemi olan optimal kontrol çalışması önem arz eden bir konu olmuştur (Kirk, 2004).

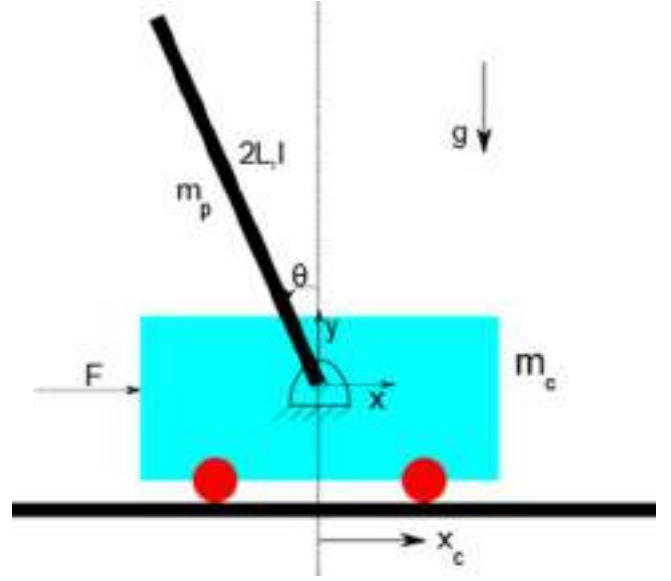
Optimal kontrol sistemleri günümüz teknolojisi olan insansız hava araçlarının kontrolünde (Arifianto ve Farhood, 2015; Kamel ve ark., 2017), sürü robotiği çalışmalarında (Zhang ve ark., 2015), karmaşık bir dinamik yapıya sahip olduğu bilinen dört bacaklı robotların yürüme ve akrobasi hareketlerinin kontrolünde (Ding ve ark., 2019; Villarreal ve ark. 2020), otonom araçların yörünge planlaması ve kontrolünde (Batkovic ve ark., 2019), kara araçları için geliştirilen engellerden kaçınma uygulamalarında (Frasch ve ark., 2013), helikopter iniş kontrolünde (Greer ve Sultan, 2020), yakıt tasarruflu roket iniş kontrolünde (Wang ve ark., 2019) kullanım örnekleri bulunan, popüler bir kontrol metodudur. Verilen çalışma örneklerinde de görüldüğü üzere özellikle MPC kontrolcüsünün, sistem limitlerini göz önünde bulundurması sebebiyle, çok farklı alanlarda kullanılabilirliği görülmektedir. Ek olarak, en bilindik optimal kontrol metotlarından biri olan LQR kontrolcüsünün, yine en bilindik klasik kontrol metotlarından biri olan PID kontrolcüsü yerine tercih edilmesini öneren çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır (Akgul ve ark., 2012; Çeven ve Albayrak, 2020).

Optimal kontrolün popülerliği ve kanıtlanan avantajları bu konuyu çalışmaya değer kılmaktadır. Yaptığımız çalışmada optimal kontrolün alt başlıklarından dördü olan sonlu ufuklu LQR, sonsuz ufuklu LQR, sonlu ufuklu MPC ve ikili mod MPC kontrolcülerinin hangi durumlarda kullanılmasının daha avantajlı olduğu irdelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, optimal kontrolü bir platforma uygulamak isteyen okuyucu, fiziksel sisteminin yapısına, kullanılabilir işlem gücüne ve kontrol ihtiyaçlarına göre yukarıda belirtilen dört kontrolcü arasından hangisini, nasıl uygulaması gerektiği hakkında fikir sahibi olacaktır.

Bahsi geçen dört kontrolcünün kontrol performanslarının gözlenebilmesi amacıyla bir ters sarkaç sistem modeli kullanılmıştır. Ters sarkaç mekanizması doğrusal olmayan, stabil olmayan ve eklem sayısından daha az sayıda eyleyiciye sahip olan yapısı sebebiyle kapsayıcı bir dinamik modeldir. Bu kapsayıcılığına ek olarak, çoğu okuyucunun aşına olduğu düşünülen, aşına olunmasa bile sezgisel/matematikselsel olarak anlaşılması kolay olan bu dinamik model üzerinden kontrol sisteminin ve mekanizmanın tepkilerine anlam vermek daha kolay olacaktır.

2. Sistem Modeli

Kontrol edilecek ters sarkaç mekanizmasının serbest cisim diyagramı Şekil 1’ de gösterilmiştir. Ters sarkaç sisteminin arabası dışarıdan uygulanan bir kuvvet ile tek eksende ileri geri hareket ettirilmekte ve arabaya bağlı olan sarkaç ise bahsedilen hareket sonucunda sarkaç açısı olan θ açısı sıfır olacak şekilde tutulmaya çalışılmaktadır. Sisteme dışarıdan uygulanan tek kuvvet arabaya x-doğrultusunda uygulanan kuvvettir. Sarkaç, arabaya serbest bir eklem ile bağlanmakta ve bu eklemden eyleyici bulunmamaktadır. Mekanizmadaki arabanın kütlesi 1 kg, sarkacın kütlesi 0,5 kg ve sarkacın uzunluğu ise 0,3 m olarak modellenmiştir.

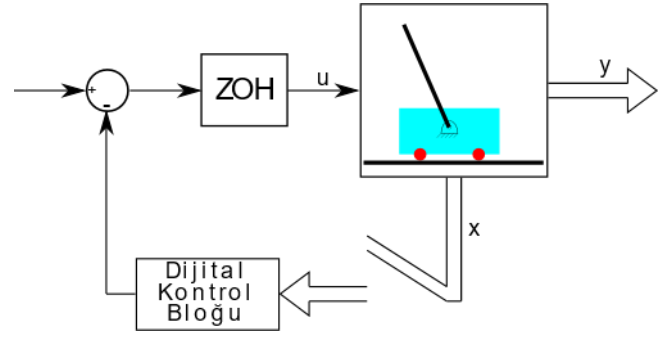


Şekil 1. Ters sarkaç sisteminin serbest cisim diyagramı.

Ters sarkaç sisteminin hareket denklemlerinin türetilmesi sonucunda elde edilen ve Eş. 1’ de gösterilen formatta bulunan durum uzayı Eş. 2’ de gösterilmiştir. Eğer n durum sayısını, p kontrol sinyali sayısını ve q çıktı sayısını ifade ederse, Eş. 1’ de gösterilen $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{R}^n$ durum vektörünü, $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ karakteristik matrisini, $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n \times p}$ kontrol matrisini, $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{R}^p$ kontrol vektörünü, $\mathbf{y}(t) \in \mathbb{R}^q$ çıktı vektörünü, $\mathbf{C} \in \mathbb{R}^{q \times n}$ çıktı matrisini gösterir. Modelleme sırasında sistemde enerji kaybı olmadığı, hareketin tamamen düzlemsel olduğu, teker ile zemin arasında kayma olmadığı ve teker ile zeminin her zaman temas halinde olduğu varsayımları yapılmıştır. Son olarak da elde edilen doğrusal olmayan denklemler, yapılan varsayımlar doğrultusunda ve sistemin sıfır θ açısı etrafında küçük açı hareketleri yapacağı varsayımı ile doğrusal hale getirilmiştir. Sarkaç açısının sıfır dereceden uzaklaşması kontrolcü tasarımı için kullanılan modeli doğruluktan saptırmaktadır. Durum uzayı gösteriminde dikkat çeken bir detay sistemin iki çıktısının olmasıdır. Yani sarkacın açısına ek olarak arabanın pozisyonu da sistemin çıktıları arasında yer almaktadır. Arabanın hareket edecek sonsuz alanı olmadığından dolayı arabanın pozisyonunun da kontrol edilmesi gerekmektedir. Durum uzayı gösteriminde dikkat çeken bir diğer nokta ise sisteminin tamamen yönetilebilir ve gözlenebilir olmasıdır. Sistemin tamamen yönetilebilir olması herhangi bir durum değişkeninin kontrol sinyali ile herhangi bir değerden başka bir değere ulaştırılabileceğini ifade eder. Buna benzer olarak sistemin tamamen gözlenebilir olması da sistemin çıktıları olan sarkaç açısı ve araba pozisyonu bilgileri ile diğer herhangi bir durum değişkeninin hesaplanabileceğini ifade eder.

Eş. 2' de gösterilen sürekli zamanlı durum uzayını, süreksiz zamanlı durum uzayına dönüştürmek için Eş. 3 kullanılabilir. Eşlenikte gösterilen A_d, B_d, C_d matrisleri, sürekli zamanlı durum uzayındaki eşleniklerinin süreksiz zamana dönüştürülmüş halini, T ise süreksizliğin periyodunu simgelemektedir. Süreksiz zaman uzayında çalışan bilgisayar ortamlarında durum uzaylı benzetimlerin ve tasarımların süreksiz zamanlı durum uzay modeli ile yapılması daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Bu çalışmada kontrolcü tasarımında kullanılan durum uzayı süreksiz zamanlıdır.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned} \quad (1)$$



Şekil 2. Kontrol sistemi blok diyagramı yapısı

3.1. Süreksiz Zamanlı Sonlu Ufuklu LQR Kontrolcüsü

Sonlu ufuklu LQR kontrolcüsü, sistemin bulunulan zamandaki durumunu ve gelecekteki sonlu sayıdaki durumlarının süreksiz zamanlı durum uzayı modeli ile elde edilen tahminini bir bedel fonksiyonunda toplayıp, bu bedel fonksiyonunu minimuma getirecek kontrol sinyalini hesaplar ve bunu sisteme uygular. Bu sayede bedel fonksiyonundaki ağırlıklara göre en optimal kontrol uygulanmış olur. LQR problemi tanımı Eş. 4' de gösterilmiştir. Eş. 4' de gösterilen bedel fonksiyonunun dikkat çeken bir özelliği kuadratik formda olmasıdır. Bedel fonksiyonunun kuadratik (ikinci dereceden) formda olması her zaman bir minimum veya maksimum değerini garanti eder. Ek olarak doğrusal yapılı olan bu bedel fonksiyonunun çözümü de hızlı ve kolaydır. LQR probleminde kullanılan $x(t) \in \mathbb{R}^n$ durum vektörünü, simetrik pozitif yarı-tanımlı $Q_f \in \mathbb{R}^{n \times n}$ matrisi final basamaktaki durum değişkenlerinin ağırlık katsayısını, simetrik pozitif yarı-tanımlı $Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$ matrisi ara basamaklardaki durum değişkenlerinin toplamının ağırlık katsayısını, simetrik pozitif tanımlı $R \in \mathbb{R}^{p \times p}$ matrisi verilecek kontrol sinyalinin ağırlık katsayısını, N hesaba katılacak basamak sayısını, $u(t) \in \mathbb{R}^p$ kontrol vektörünü simgeler. Ağırlık katsayıları kontrolcü parametreleridir ve değişkenlerin bedel baskınlığını belirler. Örneğin kontrol sinyalinin ağırlık katsayısının yüksek seçilmesi, kontrol sinyalinin büyük bir bedele sahip olmasına sebep olur. Kontrol sinyalinin büyük bir bedele sahip olması da optimizasyon sonucunda hesaplanan kontrol sinyalinin değerinin küçük olmasına sebep olur, çünkü bedel fonksiyonunun değerinin minimum olması istenmektedir. Benzer şekilde kontrol sinyalinin ağırlık katsayısının küçük seçilmesi kontrolcünün sisteme, kıyasla, daha agresif kuvvetler uygulamasına sebep olur. Kontrol performansı Q, Q_f, R ve N parametrelerinin seçimine göre değişim göstermektedir.

Sunulan LQR probleminin analitik çözümü durumlara göre büyük matrislerin terslerinin alınmasını gerektirmektedir. Yoğun bir işlem gücü gerektiren matris tersine alma işlemine alternatif olarak problemin çözümü döngülü olarak yapılabilmektedir. Bahsedilen döngülü çözüm Eş. 5' de gösterilmiştir. Bu döngülü çözümün sonuçlandırılması için Eş. 6' da gösterilen geriye özyinelemeli Riccati denkleminin çözülmesi gerekmektedir. Geriye özyinelemeli Riccati denkleminin çözülmesi sonucunda Eş. 5' de gösterilen gerekli kontrol sinyali değerinin çözülüp sisteme uygulanması sonucunda kontrol yapılmış olacaktır.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \\ \dot{x}_4(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \dot{x}_c(t) \\ \dot{x}_c(t) \\ \dot{\theta}(t) \\ \ddot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m_p^2 g L^2}{I(m_p + m_c) + m_p m_c L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{m_p g L (m_p + m_c)}{I(m_p + m_c) + m_p m_c L^2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ I + m_p L^2 \\ \frac{I(m_p + m_c) + m_p m_c L^2}{m_p L} \\ \frac{0}{I(m_p + m_c) + m_p m_c L^2} \end{bmatrix} u(t) \end{aligned} \quad (2)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_c(t) \\ \dot{x}_c(t) \\ \dot{\theta}(t) \\ \ddot{\theta}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

$$A_d = e^{AT}, \quad B_d = \int_0^T e^{A\tau} d\tau, \quad C_d = C \quad (3)$$

3. Kontrolcü Modelleri

Belirtildiği gibi sarkaç açısı olan θ açısını sıfır derecede tutmak ve arabayı istenen pozisyonda tutabilmek amacıyla sisteme kontrolcü eklenmesi gerekmektedir. Bu kontrolcü, hedeflenen davranışlar için gerekli olan kuvvet girişini hesaplayacak ve bu kuvveti sisteme uygulayacaktır. Tasarlanan kontrol sisteminin blok diyagram gösterimi Şekil 2' de gösterilmiştir. Sürekli zamanda olan ters sarkaç mekanizması ile süreksiz zamanda olan kontrol sistemi arasındaki sinyal dönüşümleri belirtilen şekil içerisinde ayrıca gösterilmiştir. Farklı optimal kontrolcülerin irdelendiği bu kısımda sırası ile sonlu ufuklu LQR kontrolcüsü, sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsü, sonlu ufuklu MPC kontrolcüsü ve son olarak da ikili mod MPC kontrolcüsü incelenecektir. Bahsi geçen dört kontrolcü de Şekil 2' de gösterilen dijital kontrol bloğunu kendilerine has yöntemlerle şekillendirmektedirler.

$$\min_{u_0, \dots, u_{N-1}} \left\{ J = \mathbf{x}_N^T \mathbf{Q}_f \mathbf{x}_N + \sum_{k=0}^{N-1} (\mathbf{x}_k^T \mathbf{Q} \mathbf{x}_k + \mathbf{u}_k^T \mathbf{R} \mathbf{u}_k) \right\}$$

Bağlı olarak: (4)

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A} \mathbf{x}_k + \mathbf{B} \mathbf{u}_k, \quad k = 0, 1, \dots, N-1; \quad \mathbf{x}_0 \text{ biliniyor}$$

$$\mathbf{Q} = \mathbf{Q}^T \geq 0, \quad \mathbf{Q}_f = \mathbf{Q}_f^T \geq 0, \quad \mathbf{R} = \mathbf{R}^T > 0$$

$$\mathbf{u}_k = - \underbrace{(\mathbf{R} + \mathbf{B}^T \mathbf{P}_{k+1} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}_{k+1} \mathbf{A}}_K \mathbf{x}_k \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_k = \mathbf{A}^T \mathbf{P}_{k+1} \mathbf{A} + \mathbf{Q} - \mathbf{A}^T \mathbf{P}_{k+1} \mathbf{B} (\mathbf{B}^T \mathbf{P}_{k+1} \mathbf{B} + \mathbf{R})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}_{k+1} \mathbf{A}$$

$$\mathbf{P}_N = \mathbf{Q}_f \quad (6)$$

3.2. Süreksiz Zamanlı Sonsuz Ufuklu LQR Kontrolcüsü

Sonlu ufuklu LQR kontrolcüsünden farklı olarak sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsü bedel fonksiyonu içerisinde sistemin bulunduğu durumu ve sonlu miktardaki gelecek durumları değil, sistemin bulunduğu durumdan itibaren sonsuz zaman sonraki durumuna kadar olan tüm davranışlarını hesaba katarak bir kontrol sinyali hesaplamayı temel alır. Sonsuz ufuklu LQR probleminin çözümü sonlu ufuklu LQR problemine benzerlik göstermektedir. Çözümler arasındaki farkların biri Eş. 6' da gösterilen geriye özyinelemeli Riccati denkleminin daha farklı bir hal alması, öteki ise geri besleme kazanç matrisinin ($\mathbf{K}_\infty \in \mathbb{R}^{p \times n}$) sabit olmasıdır. Eş. 7' de kontrol sinyalinin yeni yapısı, Eş. 8' de ise süreksiz zamanlı cebirsel Riccati denklemi gösterilmiştir.

$$\mathbf{u}_k = - \underbrace{(\mathbf{R} + \mathbf{B}^T \mathbf{P}_\infty \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}_\infty \mathbf{A}}_{\mathbf{K}_\infty} \mathbf{x}_k \quad (7)$$

$$\mathbf{P}_\infty = \mathbf{A}^T \mathbf{P}_\infty \mathbf{A} + \mathbf{Q} - \mathbf{A}^T \mathbf{P}_\infty \mathbf{B} (\mathbf{B}^T \mathbf{P}_\infty \mathbf{B} + \mathbf{R})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}_\infty \mathbf{A} \quad (8)$$

3.3. Süreksiz Zamanlı Sonlu Ufuklu MPC Kontrolcüsü

Sonlu ufuklu MPC kontrolcüsü, sonlu ufuklu LQR kontrolcüsüne benzer bir bedel fonksiyonu içerir. Buradaki farklılık optimizasyon sırasında kontrol sinyalindeki ve durum uzayı değişkenlerindeki limitlerin de hesaba katılmasıdır. Optimizasyon sırasında hesaba katılması gereken bu doğrusal olmayan limitler, bahsi geçen LQR kontrolcülerinde kullanılan döngülü çözümlerin kullanım dışı kalmalarına sebep olmakta ve büyük matrislerin terslerinin hesaplanmasını gerektirmektedir. MPC problemlerinde kullanılan yaygın çözüm yöntemi, LQR probleminin en-küçük-kareler problemi (least-squares problem) olarak yazılıp kuadratik programlama ile çözülmesidir. Sonlu ufuklu MPC problemi Eş. 9' da gösterilmiştir. LQR kontrolcülerden farklı olarak bu problem çözülürken eşlenik içerisinde belirtilen tüm limitler hesaba katılmalıdır. Eşlenik içerisinde sırasıyla durum uzayı değişkenlerinin limitlerinin, kontrol sinyali değişkenlerinin limitlerinin, durum uzayı değişkenlerinin doğrusal kombinasyonlarının limitlerinin ve kontrol sinyali değişkeninin doğrusal kombinasyonlarının limitlerinin göz önünde bulundurulduğu gösterilmiştir. Ek olarak LQR probleminin gösteriminden farklı olarak indekslerde bir gösterim farklılığı dikkat çekmektedir. Bu farklılık LQR kontrolcüsünden farklı olarak her basamakta N kadar basamak ilerisinin simülasyonunun limitler göz önünde bulundurulmasıyla yapılmasından kaynaklanmaktadır. Normal bir LQR kontrolcüsünde N basamak kullanılarak yapılan optimizasyonda

N basamak için de gerekli olan geri bildirim kazanç matrisi değerleri tek seferde hesaplanabilmektedir. Fakat MPC içerisinde bulunan doğrusal olmayan limitlerin getirdiği zorlukların aşılması için her basamakta N kadar ilerideki basamağın hesaplanmasının tekrar yapılması gerekmektedir. Bu farklılık sonlu ufuklu MPC kontrolcüsüne ek bir hesaplama maliyeti getirmektedir. Sonlu ufuklu MPC kontrolcüsünün dikkat çeken bir detayı ise herhangi bir limitlemenin olmadığı durumlarda (bedel fonksiyonunun doğrusal olduğu durumlarda) kontrolcünün, aynı ufuk sayısına sahip sonlu ufuklu LQR kontrolcüsü ile aynı kontrol performansına sahip olmasıdır. Sisteme eklenen limitlemeler bu iki kontrolcü arasında farklılaşmalara sebep olmaktadır.

$$\min_{u_{0|k}, \dots, u_{N-1|k}} \left\{ J = \mathbf{x}_{N|k}^T \mathbf{Q}_f \mathbf{x}_{N|k} + \sum_{j=0}^{N-1} (\mathbf{x}_{j|k}^T \mathbf{Q} \mathbf{x}_{j|k} + \mathbf{u}_{j|k}^T \mathbf{R} \mathbf{u}_{j|k}) \right\}$$

Bağlı olarak:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A} \mathbf{x}_k + \mathbf{B} \mathbf{u}_k, \quad k = 0, 1, \dots, N-1; \quad \mathbf{x}_0 \text{ biliniyor}$$

$$\mathbf{Q} = \mathbf{Q}^T \geq 0, \quad \mathbf{Q}_f = \mathbf{Q}_f^T \geq 0, \quad \mathbf{R} = \mathbf{R}^T > 0 \quad (9)$$

$$\mathbf{x}_{min} \leq \mathbf{x}_{j|k} \leq \mathbf{x}_{max}, \quad j = 0, 1, \dots, N$$

$$\mathbf{u}_{min} \leq \mathbf{u}_{j|k} \leq \mathbf{u}_{max}, \quad j = 0, 1, \dots, N-1$$

$$\mathbf{f}_x^T \mathbf{x}_{j|k} \leq \mathbf{v}_x, \quad j = 0, 1, \dots, N$$

$$\mathbf{f}_u^T \mathbf{u}_{j|k} \leq \mathbf{v}_u, \quad j = 0, 1, \dots, N-1$$

3.4 Süreksiz Zamanlı İkili Mod MPC Kontrolcüsü

İkili mod MPC kontrolcüsü, sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsü ile sonlu ufuklu MPC kontrolcüsünün birleştirilmesi sonucu elde edilen bir kontrolcüdür. Sonlu ufuklu MPC kontrolcüsünden farklı olarak \mathbf{Q}_f matrisi yani final basamaktaki durum değişkenlerinin ağırlık katsayısı süreksiz zamanlı Lyapunov denklemi koşulunu sağlayan bir \mathbf{P} matrisi ile değiştirilmiştir. Bu \mathbf{P} matrisi sonsuz basamaktaki toplam bedeli simgelemektedir. Eş. 9' a bahsedilen Lyapunov denklemi koşulu eklendiği zaman Eş. 10 elde edilmektedir. Bahsedilen süreksiz zamanlı Lyapunov denklemini çözebilmek için de Eş.11' de gösterilen ve sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsünde tanımlanan geri besleme kazanç matrisinin kullanılması gerekmektedir. \mathbf{P} matrisinin hesaplanması ve \mathbf{Q}_f matrisinin yerine koyulması ile, sonlu ufuklu MPC problemi gibi, bu problem de kuadratik programlama ile çözülebilmektedir. İkili mod MPC kontrolcüsünün dikkat çeken bir detayı ise herhangi bir limitlemenin olmadığı durumlarda kontrolcünün, sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsü ile aynı kontrol performansına sahip olmasıdır. Sisteme eklenen limitlemeler bu iki kontrolcü arasında farklılaşmalara sebep olmaktadır.

$$\min_{u_{0|k}, \dots, u_{N-1|k}} \left\{ J = \mathbf{x}_{N|k}^T \mathbf{P} \mathbf{x}_{N|k} + \sum_{j=0}^{N-1} (\mathbf{x}_{j|k}^T \mathbf{Q} \mathbf{x}_{j|k} + \mathbf{u}_{j|k}^T \mathbf{R} \mathbf{u}_{j|k}) \right\}$$

Bağlı olarak:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A} \mathbf{x}_k + \mathbf{B} \mathbf{u}_k,$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1 ; \mathbf{x}_0 \text{ biliniyor}$$

$$\mathbf{Q} = \mathbf{Q}^T \geq 0, \quad \mathbf{Q}_f = \mathbf{Q}_f^T \geq 0, \quad \mathbf{R} = \mathbf{R}^T > 0 \quad (10)$$

$$\mathbf{P} - (\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}_\infty)^T \mathbf{P} (\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}_\infty) = \mathbf{Q} + \mathbf{K}_\infty^T \mathbf{R} \mathbf{K}_\infty$$

$$\mathbf{x}_{min} \leq \mathbf{x}_{j|k} \leq \mathbf{x}_{max}, \quad j = 0, 1, \dots, N$$

$$\mathbf{u}_{min} \leq \mathbf{u}_{j|k} \leq \mathbf{u}_{max}, \quad j = 0, 1, \dots, N-1$$

$$\mathbf{f}_x^T \mathbf{x}_{j|k} \leq \mathbf{v}_x, \quad j = 0, 1, \dots, N$$

$$\mathbf{f}_u^T \mathbf{u}_{j|k} \leq \mathbf{v}_u, \quad j = 0, 1, \dots, N-1$$

$$\mathbf{K}_\infty = (\mathbf{R} + \mathbf{B}^T \mathbf{P}_\infty \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}_\infty \mathbf{A} \quad (11)$$

4. Benzetim

Çalışmasının bu kısmında, önceki kısımda tasarlanan kontrolcüler sistem dinamiği altında gözlemlenmiştir. Burada sisteme verilecek olan kontrol sinyalleri dört farklı kontrolcü ile hesaplanmış ve bu kontrol sinyalleri karşısında sistemin davranışları incelenmiştir. Burada, doğrusallaştırılmış durum uzayı ile tasarlanan kontrolcüler, doğrusal olmayan (orijinal) sistem modelinde test edilmiştir. Ek olarak gerçek hayatta ters sarkaç mekanizmasının sürekli zaman uzayında çalışıyor olması sebebiyle, benzetim yapılırken doğrusal olmayan ters sarkaç modelinin hesaplama periyodu kontrol sisteminin periyodundan çok daha küçük seçilmiştir.

Yapılan benzetim çalışması, tasarlanan dört farklı kontrolcünün davranışlarının en uygun şekilde sunulabilmesi ve tartışılabilmesi adına dört farklı parametre seçimi ile yapılmıştır. Senaryo olarak adlandırılan bu farklı parametre seçimleri kendi alt başlıkları altında incelenmiştir. Bütün senaryolarda sistemin çıktısının minimuma getirilmesi amacıyla $\mathbf{Q} = \mathbf{Q}_f = \mathbf{C}^T \mathbf{C}$ seçimi yapılmıştır. Bu sayede kontrolcülerin hedefi kontrol sinyalini ve sistem çıktısını sifıra getirmek olacaktır.

4.1. Senaryo 1

Yapılan benzetimde seçilen parametreler Tablo 1' de benzetim sonucu da Şekil 3' de gösterilmiştir. Yapılan benzetimde sisteme herhangi bir sınırlama tanımlanmadığından dolayı sonlu ufuklu LQR kontrolcü ile sonlu ufuklu MPC kontrolcü ve sonsuz ufuklu LQR kontrolcü ile ikili mod MPC kontrolcü kendi aralarında aynı kontrolü uygulamışlardır. Şekilde görüldüğü üzere sistem çıktıları olan sarkaç açısı ve araba pozisyonu, sistem girdisi olan kontrol sinyaliyle birlikte sifıra ulaşmaktadır. Bu benzetimde dikkat çeken davranış sonlu ufuklu MPC kontrolcüsü ile sonlu ufuklu LQR kontrolcüsünün öteki iki kontrolcüye kıyasla daha düşük kontrol sinyalleri ile kontrol görevlerini tamamlamalarıdır. Kontrolcülerdeki farklı davranışın sebebi bedel fonksiyonlarındaki farklılıklardır. Sonlu ufuklu kontrolcülerde N değeri 50 seçildiği için kontrolcü hesaplamalarında en fazla 0,5 saniye ilerisine bakabilmektedir. Bu durumda sonlu ufuklu kontrolcülerde bedel fonksiyonunun minimumda olmasını engelleyen tek parametre sarkacın başlangıç açısıdır. Bu nedenle sonlu ufuklu kontrolcüler sarkacın açısını kıyasla daha hızlı sifıra getirdi fakat araba

pozisyonundaki hafif dalgalanmalara engel olamadılar. Sonsuz ufuklu kontrolcülerde hesaplanan kontrol sinyalinin daha büyük olması bedel fonksiyonlarının değerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kontrolcülerde N değerinin sonsuza gitmesinden dolayı bedel fonksiyonunda hesaba katılan durum sayısı da sonsuza gitmektedir. Bu sebeple kontrolcü daha agresif bir kontrol sinyali üretmektedir.

Ufuk seçiminin 50' den daha az olduğu durumlarda sonlu ufuklu kontrolcüler sistemi kontrol etmekte başarısız olmuşlardır. Her sistemin stabil olabilmesi için gerekli olan minimum ufuk miktarı farklıdır. Burada minimum gerekli ufuk miktarının göreceli olarak yüksek olmasının sebebi sistemin denge durumu etrafında stabil olmamasından ve eylemsizlik momentinin küçük olmasından dolayıdır. Bedel fonksiyonuna eklenen durumların sayılarının az olması, sistemi kontrol edecek doğru kontrol sinyallerinin hesaplanmasını engellemiştir. Duruma benzer olarak ufuk seçiminin daha büyük olduğu durumlarda sonlu ufuklu kontrolcülerin davranışları, sonsuz ufuklu kontrolcülerin davranışlarına daha çok benzemektedir. Bedel fonksiyonuna eklenen durumların sayısının artması, fonksiyonu sonsuz durumun hesaba katıldığı haline daha çok benzetmektedir.

Tablo 2' de gösterilen hesaplama süreleri göz önüne alındığında, hesaplaması en maliyetli olan kontrolcünün sonlu ufuklu MPC olduğu görülmektedir. Bunun sebebi bu yöntemin bahsedildiği gibi çok büyük matrislerin terslerinin alınmasını gerektirmesidir. Hesaplama süresini azaltmak amacıyla tasarlanan ikili mod MPC, ufuk sayısının daha az olması (tersinin alınması gereken matrislerinin boyutlarının küçülmesi) sebebiyle daha kısa sürede çözüm sunabilmiştir. Doğrusal yapıda olması sebebiyle ve herhangi bir limiti dikkate alması gerekmemesi sebebiyle LQR kontrolcülerin çözüm sürelerinin MPC kontrolcülerin çözüm sürelerinden çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çözüm sürelerindeki farklılıklara rağmen dört kontrolcü de 100Hz frekanslı bir kontrol döngüsünde kullanılabilmiştir.

Tablo 1. Kontrolcü ve sistem parametreleri (Senaryo 1)

R (kontrol sinyali ağırlık katsayısı)	0,001
Kontrol sinyali limiti	Yok
N (ufuk miktarı, hesaba katılan adım sayısı)	50
İkili mod MPC N (hesaba katılan adım sayısı)	10
Sarkaç açısı başlangıç değeri	15°
Frekans (1/T)	100 Hz

Tablo 2. Tasarlanan kontrolcülerin çözüm süreleri. Bu sonuçlar Linux Mint 20.1 işletim sistemli ve Intel® Core™ i7-9700F CPU @ 3.00GHz × 8 işlemcili bir bilgisayarda MATLAB R2020A benzetim programı aracılığı ile elde edilmiştir.

Toplam benzetim süresi	5 saniye
Sonlu ufuklu LQR kontrolcü çözüm süresi	0,004 saniye
Sonsuz ufuklu LQR kontrolcü çözüm süresi	~0 saniye
Sonlu ufuklu MPC kontrolcü çözüm süresi	0,536 saniye
İkili mod MPC kontrolcü çözüm süresi	0,348 saniye

4.2. Senaryo 2

Yapılan benzetimde seçilen parametreler Tablo 3' de benzetim sonucu da Şekil 4' de gösterilmiştir. Yapılan benzetimde tanımlanan kontrol sinyali limitlemesi sebebiyle kontrolcüler arasındaki farklılıklar ortaya çıkmaya başlamıştır. Herhangi bir limitleme olmadığı durumlarda aynı kontrol performansı gösteren ikili mod MPC ve sonsuz ufuklu LQR kontrolcülerini, ikili mod MPC kontrolcüsünün optimizasyon sırasında limitleri dikkate alması sebebiyle sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsünden farklı bir performans göstermiştir. Sonlu ufuklu MPC kontrolcüsü ile sonlu ufuklu LQR kontrolcüsü kontrol sinyali limitlerine takılmadığından dolayı aynı kontrol performansını göstermeye devam etmişlerdir. Yapılan benzetimde, sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsünün optimizasyonu sistem limitlerinden bağımsız olarak yapması sebebiyle yani sistem kontrol sinyalinin, hesaplamasının yapılmasından daha sonra limitlere takılması sebebiyle harekette kıyasla daha fazla dalgalanma gözlemlenmiştir. Benzer şekilde ikili mod MPC kontrolcüsünün bedel fonksiyonu içerisinde sonsuz sayıdaki basamağın bedelinin bulunması sebebiyle agresif bir kontrol sinyali üretmiş ve bu sinyal tekrar dalgalanmalara sebep olmuştur. İkili mod MPC kontrolcüsünün ufku arttırıldıkça, sonlu ufuklu MPC kontrolcüsüne daha çok benzeyen bir kontrol performansı göstermektedir fakat çözüm süresi de artmaktadır. Sonlu ufuklu LQR kontrolcüsü sadece 50 basamağın bedelini hesaplaması sebebiyle agresif bir kontrol sinyali üretmemiş ve bu kontrol sinyali sistem limitlerine takılmamıştır. Hesaplanan kontrol sinyalinin limitlere takılmamış olması sonlu ufuklu LQR kontrolcüsü ile sonlu ufuklu MPC kontrolcüsünün aynı kontrol performansı göstermesine sebep olmuştur.

Tablo 3. Kontrolcü ve sistem parametreleri (Senaryo 2).

R (kontrol sinyali ağırlık katsayısı)	0,001
Kontrol sinyali limiti	7 N
N (ufuk miktarı, hesaba katılan adım sayısı)	50
İkili mod MPC N (hesaba katılan adım sayısı)	20
Sarkaç açısı başlangıç değeri	15°
Frekans (1/T)	100 Hz

4.3. Senaryo 3

Yapılan benzetimde seçilen parametreler Tablo 4' de benzetim sonucu da Şekil 5' de gösterilmiştir. Burada kontrol sinyali limiti daha da daraltıldığında sonsuz ufuklu kontrolcülerin davranışlarında ciddi farklılıklar gözlemlenmiştir. Yapılan optimizasyonda sistem limitlerinin dikkate alınmadığı sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsünün sistemi kontrol etmekte başarısız olduğu gözlemlenmiştir. İkili mod MPC kontrolcüsünün sistemi ancak sarkaç bir tur attıktan sonra kontrol edebildiği, sonlu ufuklu MPC kontrolcüsünün sistemi hiçbir sorun yaşamadan kontrol edebildiği gözlemlenmiştir. Sonlu ufuklu LQR kontrolcüsü limitlere takılmadığı için sonlu ufuklu MPC kontrolcüsü ile eşlenik bir kontrol karakteristiği göstermiştir. İkili mod MPC kontrolcüsünün kontrol performansı (paralel olarak çözüm süresi) N değeri arttıkça artmaktadır. İkili mod MPC kontrolcüsünün N değerinin 10 olduğu benzetimde, kontrolcünün sarkaç ancak iki tur attıktan sonra kontrol altına alabildiği gözlemlenmiştir.

Tablo 4. Kontrolcü ve sistem parametreleri (Senaryo 3).

R (kontrol sinyali ağırlık katsayısı)	0,001
Kontrol sinyali limiti	5 N
N (ufuk miktarı, hesaba katılan adım sayısı)	50
İkili mod MPC N (hesaba katılan adım sayısı)	20
Sarkaç açısı başlangıç değeri	15°
Frekans (1/T)	100 Hz

4.4. Senaryo 4

Yapılan benzetimde seçilen parametreler Tablo 5' de benzetim sonucu da Şekil 6' da gösterilmiştir. Bu senaryoda kontrol sinyali ağırlık katsayısı daha da küçültülerek kontrolcülerin daha da agresif kontrol sinyalleri üretmeleri sağlanmıştır. Kontrolcülerin daha agresif kontrol sinyalleri üretmesi bu sinyallerin limitlere daha sık takılacağı anlamına gelmektedir. Kontrol performansları gözlemlendiğinde sistem limitlerini hesaba katmasından dolayı sadece sonlu ufuklu MPC kontrolcüsünün stabil olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Kontrolcü ve sistem parametreleri (Senaryo 4).

R (kontrol sinyali ağırlık katsayısı)	0,00001
Kontrol sinyali limiti	5
N (ufuk miktarı, hesaba katılan adım sayısı)	50
İkili mod MPC N (hesaba katılan adım sayısı)	20
Sarkaç açısı başlangıç değeri	15°
Frekans (1/T)	100 Hz

4.5. Farklı Sistem Frekanslarında Kontrolcü Davranışları

Yapılan benzetimlerde tasarlanan dört kontrolcünün de seçilen ufuk sayılarında (N=50) ve 100Hz frekansında kontrol sinyalleri üretebildikleri gösterildi. Ek olarak sonlu ufuklu kontrolcülerde belli bir sayıdan az basamakla yapılan optimizasyonlar sonucu üretilen kontrol sinyallerinin sistemi kontrol etmekte başarısız olduğu ve basamak sayısının artmasıyla birlikte çözüm süresinin de arttığı paylaşıldı. Sistemin frekansının arttırıldığı durumlarda kontrolcülerin performanslarında değişiklik gözlemlenmemiş fakat çözüm sürelerinde yüksek farklılıklar gözlemlenmiştir. Özellikle sonlu ufuklu kontrolcülerde frekansın arttığı durumlarda ufuk sayısının da arttırılmak zorunda kalınması, çözüm sürelerini çok arttırmıştır. 100Hz frekansında yapılan bir kontrolde 0,5 saniye ilerisini kapsayan bir bedel fonksiyonu hesaplamak için 50 tane basamağın hesaba katılması gerekmektedir, fakat 1kHz frekansında yapılan bir kontrolde bu basamak sayısı 500' dür. Ufuk sayısında gerçekleşen bu artış sebebiyle MPC kontrolcüsüne tersi alınan matrislerin boyutları çok büyüdüğü ve MPC kontrolcülerinin bu frekansta kontrol sinyali hesaplayamadığı gözlemlenmiştir. Sonlu ufuklu LQR kontrolcüsünde kullanılan Riccati denklemleri sebebiyle bir sorun yaşanmamış fakat bahsedilen MPC kontrolcülerde benzetim yapılan bilgisayarda hesaplama süresinin uzun olması sebebiyle 1kHz frekansında kontrol sinyali hesaplanamamıştır.

5. Sonuçlar

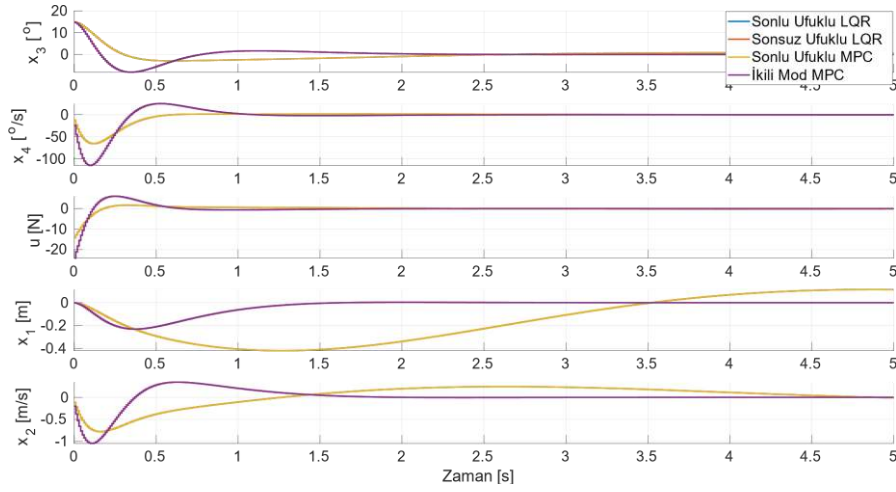
Hemen hemen bütün kontrol uygulamalarında gözlemlendiği gibi bu çalışmada da her kontrolcünün duruma özgü olduğu ve farklı avantaj ve dezavantajları olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol sinyallerinin fiziksel sistemdeki eyleyici limitlerini aşmadığı durumlarda sonlu ufuklu LQR kontrolcüsü ile çok işlem gücü gerekmeden, sonlu ufuklu MPC ile denk olan başarılı bir kontrol yapılabileceği gözlemlendi. Kontrol sinyalleri fiziksel sistemdeki eyleyici limitlerini aşmıyorsa ve sonlu ufuklu LQR kontrolcüsünün tasarlanması sırasında uygun bir ufuk değerinin (N) bulunmasından kaçınılmak isteniyorsa sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsü tercih edilebilir. Unutulmamalıdır ki, sonsuz ufuklu LQR kontrolcüsü, sonlu ufuklu LQR kontrolcüsüne kıyasla daha çok dalgalanmaya sebep olmaktadır. Kontrol sinyallerinin fiziksel sistemde eyleyici limitlerine takıldığı durumlarda sonlu ufuklu MPC kontrolcüsü tercih edilebilir. MPC kontrolcüsünün sistem limitlerini göz önünde bulundurması sebebiyle bahsedilen koşullar altında LQR kontrolcülerden daha başarılı bir kontrol performansı göstermektedir. Bu kontrolcünün dezavantajı ise

gerektirdiği işlem yüküdür. Kontrol sinyalleri fiziksel sistemde eyleyici limitlerine takılıyorsa, sonlu ufuklu MPC kontrolcüsünün tasarlanması sırasında uygun bir ufuk değerinin (N) bulunmasından kaçınılmak isteniyorsa, gerekli kontrol sinyalleri ile eyleyici limitleri arasında yüksek bir fark yoksa ve kullanılan bilgisayarın işlem gücü gerekli olan frekansta sonlu ufuklu MPC kontrolcüsü için yeterli değilse gerekli olan işlem yükünü azaltmak için ikili mod MPC kontrolcüsü tercih edilebilir.

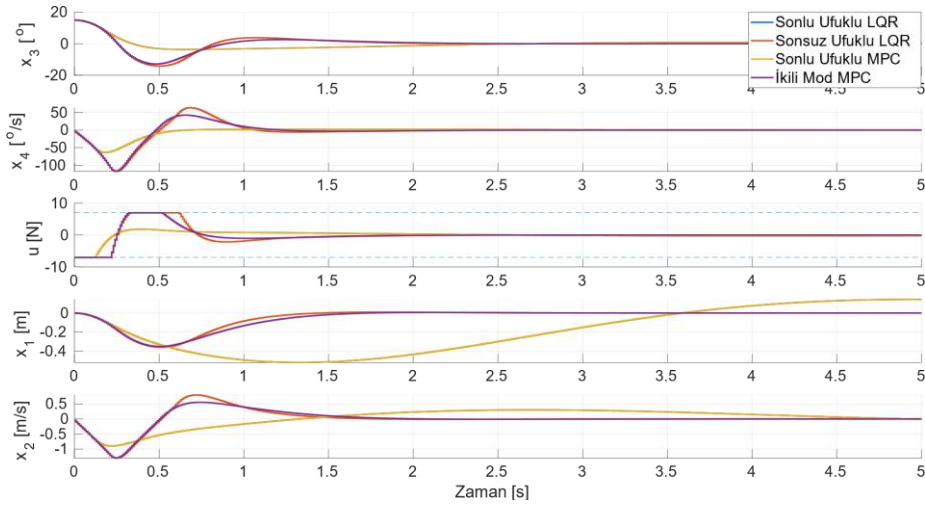
Benzetimlenen dört senaryonun kontrolcü ve sistem parametreleri ve performans metrikleri Tablo 6' da toplu bir şekilde gösterilmiştir. Her ne kadar parametre seçimi için detaylı bir çalışma yapılmamış olsa da her senaryoda dört kontrolcüde de aynı parametrelerin kullanılmış olması bu kontrolcülerin kıyaslı dinamikleri hakkında çıkarımların yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu tablo sayesinde, ek olarak, aynı kontrolcünün farklı sistem parametreleri altında göstermiş olduğu (giriş kısıtının artması ile aşma miktarının artması gibi) davranış ve performans değişiklikleri de rahatlıkla gözlenebilmektedir.

Tablo 6. Benzetimlenen dört senaryonun kontrolcü ve sistem parametreleri ve performans metrikleri. “-” işareti girilen metrikler sarkacın tam tur atması sebebi ile anlamını yitiren metriklerdir.

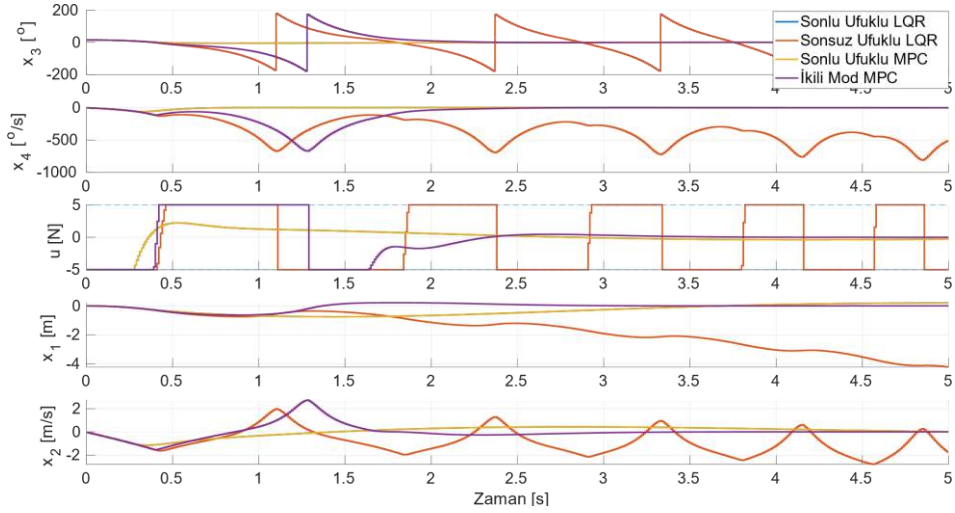
Kontrolcü ve Sistem Parametreleri		Kontrol Metodları	Sarkaç Yükselme Zamanı (s)	Sarkaç Oturma Zamanı %3 (s)	Sarkaç Aşma Miktarı (%)
Senaryo 1:		Sonlu Ufuklu LQR	0.29	2.31	%20
R	0,001	Sonsuz Ufuklu LQR	0.16	1.86	%56
Kontrol sinyali limiti (Newton)	Yok	Sonlu Ufuklu MPC	0.29	2.31	%20
N	50	İkili Mod MPC	0.16	1.86	%56
İkili mod MPC N	10				
Sarkaç açısı başlangıç değeri (°)	15				
Senaryo 2:		Sonlu Ufuklu LQR	0.34	2.44	%24
R	0,001	Sonsuz Ufuklu LQR	0.25	1.94	%95
Kontrol sinyali limiti (Newton)	7	Sonlu Ufuklu MPC	0.34	2.44	%24
N	50	İkili Mod MPC	0.25	2.09	%86
İkili mod MPC N	20				
Sarkaç açısı başlangıç değeri (°)	15				
Senaryo 3:		Sonlu Ufuklu LQR	0.43	2.62	%35
R	0,001	Sonsuz Ufuklu LQR	kararsız	kararsız	kararsız
Kontrol sinyali limiti (Newton)	5	Sonlu Ufuklu MPC	0.43	2.62	%35
N	50	İkili Mod MPC	-	2.41	1 tur
İkili mod MPC N	20				
Sarkaç açısı başlangıç değeri (°)	15				
Senaryo 4:		Sonlu Ufuklu LQR	kararsız	kararsız	kararsız
R	0,00001	Sonsuz Ufuklu LQR	kararsız	kararsız	kararsız
Kontrol sinyali limiti (Newton)	5	Sonlu Ufuklu MPC	0.39	1.63	%59
N	50	İkili Mod MPC	kararsız	kararsız	kararsız
İkili mod MPC N	20				
Sarkaç açısı başlangıç değeri (°)	15				



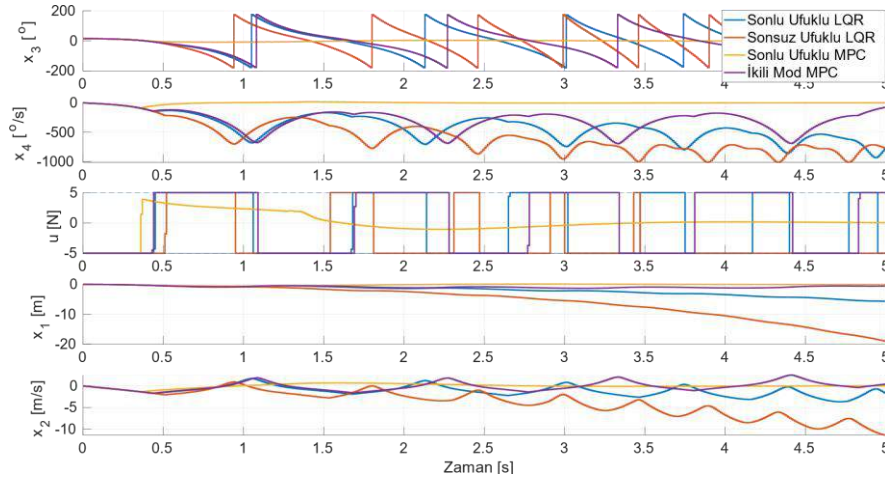
Şekil 3. Senaryo 1 olarak adlandırılan sistem ve kontrolcü durumunun benzetim sonucu.



Şekil 4. Senaryo 2 olarak adlandırılan sistem ve kontrolcü durumunun benzetim sonucu.



Şekil 5. Senaryo 3 olarak adlandırılan sistem ve kontrolcü durumunun benzetim sonucu.



Şekil 6. Senaryo 4 olarak adlandırılan sistem ve kontrolcü durumunun benzetim sonucu.

Kaynakça

- Akgul, E., Mutlu, M., Saranlı, A., & Yazicioglu, Y. (2012). A comparative evaluation of adaptive and non-adaptive Sliding Mode, LQR & PID control for platform stabilization. 2012 IEEE International Conference on Control Applications. doi:10.1109/cca.2012.6402701
- Arifianto, O., & Farhood, M. (2015). Optimal control of a small fixed-wing UAV about concatenated trajectories. Control Engineering Practice, 40, 113-132. doi:10.1016/j.conengprac.2015.03.007
- Batkovic, I., Zanon, M., Ali, M., & Falcone, P. (2019). Real-time constrained trajectory planning and vehicle control for proactive autonomous driving with road users. 2019 18th European Control Conference (ECC). doi:10.23919/ecc.2019.8796099
- Çeven, S., Albayrak, A. (2020). Çift Ters Sarkaç Sisteminin Kontrolü için PID ve LQR Kontrolcü Tasarımlarının Modellenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2020 (HORA), 323-330. DOI: 10.31590/ejosat.780070
- Ding, Y., Pandala, A., & Park, H. (2019). Real-time Model Predictive Control for Versatile Dynamic Motions in Quadrapedal Robots. 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). doi:10.1109/icra.2019.8793669
- Frasch, J. V., Gray, A., Zanon, M., Ferreau, H. J., Sager, S., Borrelli, F., & Diehl, M. (2013). An auto-generated nonlinear mpc algorithm for real-time obstacle avoidance of ground vehicles. 2013 European Control Conference (ECC). doi:10.23919/ecc.2013.6669836
- Greer, W. B., & Sultan, C. (2020). Shrinking horizon model predictive control method for helicopter–ship touchdown. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 43(5), 884-900. doi:10.2514/1.g004374
- Kamel, M., Burri, M., & Siegwart, R. (2017). Linear vs Nonlinear MPC for Trajectory Tracking Applied to Rotary Wing Micro Aerial Vehicles. IFAC-PapersOnLine, 50(1), 3463-3469. doi:10.1016/j.ifacol.2017.08.849
- Kirk, D. E. (2004). Optimal control theory: An introduction. Mineola, NY: Dover Publications.
- Villarreal, O., Barasuol, V., Wensing, P. M., Caldwell, D. G., & Semini, C. (2020). MPC-based controller with terrain insight for DYNAMIC legged locomotion. 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). doi:10.1109/icra40945.2020.9197312

- Zhang, H., Cheng, Z., Chen, G., & Li, C. (2015). Model predictive Flocking control for Second-order multi-agent systems with input constraints. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 62(6), 1599-1606. doi:10.1109/tcsi.2015.2418871
- Wang, J., Cui, N., & Wei, C. (2019). Optimal rocket landing guidance using convex optimization and model predictive control. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 42(5), 1078-1092. doi:10.2514/1.g003518



Modifiye *Juglans Regia* L. Yaprağı Kullanarak Sulu Çözeltilerden Reaktif Red 120'nin Biyosorpsiyonu

Ferda Özmal^{1*}, Gönül Duman¹

^{1*} Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyokimya Bölümü, Kütahya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8393-5279, 0000-0002-8513-9487), ferda.ozmal@dpu.edu.tr, gonulduman0388@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 19 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898496)

ATIF/REFERENCE: Özmal, F. & Duman G. (2021). Modifiye *Juglans Regia* L. Yaprağı Kullanarak Sulu Çözeltilerden Reaktif Red 120'nin Biyosorpsiyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 256-266.

Öz

Bu çalışmada ham (HCY) ve sitrik asit ile modifiye edilmiş *Juglans regia* L. (ceviz) yaprağının (MCY) sulu çözeltiden RR120 boyarmaddesini biyosorpsiyonu araştırılmıştır. Kullanılan biyokütlelerin karakterizasyon için FT-IR spektrumları ve SEM görüntüleri alınmış, zeta potansiyel analizleri yapılmıştır. Deneyler kesikli sistemde pH, biyosorban miktarı, başlangıç boyarmadde konsantrasyonu, temas süresi ve sıcaklığın fonksiyonu olarak gerçekleştirilmiştir. Çözeltilerdeki boyarmadde konsantrasyonları UV-visible spektrofotometre ile tayin edilmiştir. Biyosorpsiyon verileri her iki biyokütle için de en iyi Langmuir izoterm modeline uyum göstermiştir. Tek tabakalı maksimum biyosorpsiyon kapasitesi 50 °C'de HCY ve MCY için sırasıyla 135,16 mg/g ve 181,21 mg/g olarak tespit edilmiştir. Deneysel bulgular, yalancı-birinci dereceden ve yalancı-ikinci dereceden kinetik modellere uygulanmış ve RR120'nin HCY ve MCY üzerine biyosorpsiyon kinetiğinin yalancı-ikinci dereceden kinetik modelle açıklanabildiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyosorpsiyon, Biyosorpsiyon kinetiği, Ceviz yaprağı, Freundlich izotermi, Langmuir izotermi, RR120.

Biosorption of Reactive Red 120 from Aqueous Solutions by Using Modified *Juglans Regia* L. Leaf

Abstract

In this study, biosorption of RR120 dye from aqueous solution by *Juglans regia* L. (walnut) leaf in natural (HCY) and citric acid modified (MCY) form was investigated. The biomasses were characterized by means of FT-IR spectra, SEM images and zeta potential analyses. The experiments were carried out in the batch system as a function of pH, biosorbent amount, initial dye concentration, contact time and temperature. The dye concentrations in the solutions were determined by UV-visible spectrophotometer. Biosorption data fits best with the Langmuir isotherm model for both biomasses. Monolayer maximum biosorption capacity at 50 °C was determined as 135,16 mg/g and 181,21 mg/g for HCY and MCY, respectively. Experimental findings were applied to pseudo-first order and pseudo-second order kinetic models and it was concluded that the biosorption kinetics of RR120 on HCY and MCY could be explained by pseudo-second order kinetic model.

Keywords: Biosorption, Biosorption kinetics, *Juglans regia* L. leaf, Freundlich isotherm, Langmuir isotherm, RR120.

* Sorumlu Yazar: ferda.ozmal@dpu.edu.tr

1. Giriş

Bilim ve teknoloji alanındaki ilerlemeler, endüstrileşme adına büyük avantajlar sağlarken hızlı nüfus artışı ile birlikte çevre kirliliği problemini de beraberinde getirmiştir. Artan çevre kirliliği canlı türlerinin sayısında ciddi oranda azalmaya sebep olmuştur (Thieman and Palladino, 2004). Endüstriyel atık suların akarsu, göller, deniz veya diğer alıcı ortamlara verilmeden önce çeşitli yöntemlerle arıtılmaları ve atık su yönetmeliklerine göre toksik maddelerin belli oranlarda giderilmesi gerekmektedir. Endüstriyel atık sularda bulunan yüksek oranlardaki organik maddelerden birisi de boyar maddelerdir (Scmit, 1981). Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddelerin %10-15'inin atık suya geçtiği bilinmektedir. Bu miktar yaklaşık yılda 280.000 ton boya içeren atık suyun dünya genelinde alıcı ortamlara verildiği anlamına gelmektedir (Gül ve Yıldız, 2020). Reaktif azo boyarmaddeler, yapılarında heterosiklik ve aromatik gruplarla birlikte en az bir veya daha fazla sayıda azo zinciri (-N=N-) içeren boyarmaddelerdir ve yıllık boyarmadde üretiminin %50-60'ını oluşturmaktadırlar (Katherasan ve ark., 2018; Bulgariu ve ark., 2019). Tekstil boyama prosesinde, reaktif azo boyarmaddelerin yaklaşık %10-60'ının atık sularla çevreye verildiği tahmin edilmektedir (Munagapati ve ark., 2019).

Son yıllarda büyük bir sorun teşkil eden atık sulardaki boyarmaddelerin, çevre dostu, bol bulunan ve ucuz olan tarımsal atıklar ile giderimi büyük dikkat çekmektedir (Jahanban-Esfahlan ve ark., 2020). Biyolojik materyal kullanılarak, adsorpsiyon mekanizması ile atık su arıtımı biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Farklı türlerde tarımsal yan ürünlerin biyosorpsiyonda düşük maliyetli ve etkin giderim verimleri ile kullanılabilmesi için araştırmalar hızla devam etmektedir (Chaleshtori ve ark., 2017; Saleh ve ark., 2019). Biyosorpsiyon prosesi, biyosorbentin; yüksek verimlilikle yeniden kullanılabilmesi, yüksek seçicilik göstermesi, büyük hacimli atık sularda verimli bir şekilde uygulanabilmesi ve maliyetinin düşük olması gibi avantajlara sahiptir (Bayramoglu ve ark., 2006). Bu sebeple biyosorpsiyon atıksu arıtımında geleneksel yöntemlere önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

Bu çalışmada *Juglans regia* L. (ceviz) yaprağından hazırlanan biyosorbanlar ile tekstil endüstrisinde kullanılan anyonik bir boyarmadde olan Reaktif Red 120'nin (RR120) biyosorpsiyonu araştırılmıştır. Hazırlanan ham ve modifiye biyosorbanların sulu çözeltiden RR120 biyosorpsiyon performansı pH, adsorban miktarı, başlangıç konsantrasyonu, temas süresi ve sıcaklık gibi parametrelerin fonksiyonu olarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

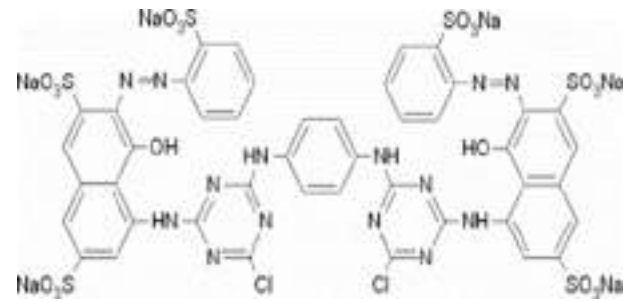
2.1. Biyosorbanın Temini ve Hazırlanması

Deneylerde biyosorban olarak kullanılan ceviz (*JUGLANS REGIA* L.) yaprağı, Afyonkarahisar Merkezindeki aktarlardan temin edilmiştir. Kurutulmuş olarak temin edilen ceviz yaprakları deiyonize su ile yıkanarak, oda koşullarında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan yapraklar Retsch Rm 200 marka öğütücüde öğütülerek tekrar deiyonize su ile yıkanmıştır. 80 °C'deki etüvde 48 saat kurutularak 250µm boyutlarındaki eleklerden geçirilmiş ve elek altı malzeme nem içeriğini uzaklaştırmak için son kez 80 °C etüvde 2 saat kurutulduktan sonra deneylerde kullanılmak üzere şişelenmiştir.

2.2. Boyarmadde Çözeltilerinin Hazırlanması

Deneylerde kullanılmak üzere bir tekstil fabrikasından temin edilmiş olan RR120 boyarmaddesinden herhangi bir saflaştırma işlemi yapmadan 1000 mg/L derişiminde stok çözeltiler hazırlanmış olup, stok çözeltilerden, gerekli seyreltmeler yapılarak istenilen konsantrasyonda çözeltiler elde edilmiş ve deneylerde kullanılmıştır. Çözeltilerin pH'larının istenilen değerlere ayarlanmasında 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH çözeltileri kullanılmış ve pH ölçümleri WTW 7110 model pH metre ile yapılmıştır.

RR120 (molar ağırlık 1469.98 g/mol, ve lineer formül $C_{44}H_{24}Cl_2N_{14}Na_6O_{20}S_6$) reaktif olarak altı sülfonik asit grubu ve iki fenolik OH grubu içermektedir (Paul ve ark., 2011).



Şekil 2.1 RR120 boyarmaddesinin kimyasal yapısı (Paul ve ark., 2011)

2.3 Biyosorbanın Modifikasyonu

Temin edilen ceviz yaprakları yıkama, kurutma ve öğütme işlemlerinden geçirilerek 250 µm eleklerden elenmiş ve elek altı malzeme HCY (ham ceviz yaprağı) olarak kodlanmış ve deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Biyosorpsiyon kapasitesini arttırmak için HCY nin sitrik asitle modifikasyonu çalışılmıştır. Bunun için 1 M sitrik asit çözeltisi hazırlanmış ve HCY nin gramı başına bu çözeltiden 10 mL alınarak 2 saat karıştırılmış ve daha sonra süzme işlemine tabi tutulmuştur. Tekrar kurutulup öğütülen biyosorban pH nötr oluncaya kadar yıkanmıştır. Her aşamada 80 °C' deki etüvde 48 saat kurularak 250µm boyutlarındaki eleklerden geçirilen biyosorbanın bu şekilde sitrik asitle modifikasyonu sağlanmıştır. Sitrik asitle modifiye edilmiş biyosorban MCY(modifiye ceviz yaprağı) olarak kodlanmıştır (dos Santos ve ark., 2019).

2.4 Kullanılan Cihazlar

Deneylerde kullanılan biyosorbanın ham haldeyken ve sitrik asitle modifikasyon işleminden sonra karakterize edilebilmesi için biyosorbana FT-IR, SEM ve ZETA potansiyeli analizleri uygulanmıştır. FT-IR analizi Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezinde (İLTEM) bulunan Bruker Alpha Platium ATR cihazıyla, SEM analizi ise yine İLTEM de yer alan FEI Nova Nanosem 650 markalı cihazla gerçekleştirilmiştir. Zeta potansiyeli ise ODTÜ Merlab da bulunan Malvern Zetasizer NanoZS90 marka cihazla yapılmıştır. Hazırlanan biyosorbanlar optimum koşullarda RR120 boyarmaddesi ile yüklendikten sonra FT-IR, SEM ve ZETA potansiyeli analizleri tekrarlanarak biyosorbanın yüklü ve yüksüz hallerindeki yapıları karşılaştırılmıştır.

Deneylerin her aşamasında çözeltilerdeki boyarmadde miktarları Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Bor Araştırma Laboratuvarında bulunan SHIMADZU 2550 markalı UV spektrofotometre cihazıyla ölçülmüştür.

2.5 Kesikli Sistemle Biyosorpsiyon Deneyleri

Biyosorpsiyon deneylerinde pH, biyosorban miktarı, temas süresi ve sıcaklık, boyarmadde konsantrasyonu gibi parametrelerin biyosorpsiyon üzerine etkileri çalışılmıştır. pH etkisini çalışmak için, 250 µm boyutundaki 0,05 g biyosorbanlar üzerine 50 mL 100 mg/L RR120 boyarmadde ilave edilmiş ve pH değerleri 1- 9 aralığında değiştirilerek 500 rpm de 1 saat karıştırılmıştır. Biyosorban miktarının biyosorpsiyondaki etkisini belirlemek için, 0,025-0,4 g' lik biyosorbanlar üzerine 100 mg/L başlangıç derişimindeki RR120'den 50 mL ilave edilmiş, pH'ları belirlenen optimum pH' a ayarlandıktan sonra 500 rpm' de 1 saat oda sıcaklığında karıştırılarak süzölmüştür. RR120 boyarmadde başlangıç konsantrasyonlarının biyosorpsiyon üzerine etkisini araştırmak için ise, başlangıç konsantrasyonları 50-400 mg/L aralığında çalışılmıştır. Elde edilen deneysel veriler, Langmuir ve Freundlich izoterm eşitliklerine uygulanarak biyosorpsiyon süreci 20 °C, 30 °C, 40 °C ve 50 °C olmak üzere dört ayrı sıcaklık için çalışılmış ve sıcaklığın bu süreç üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. RR120 boyarmadde biyosorbanlar tarafından farklı sıcaklık ve sürelerde biyosorpsiyonunda, biyosorpsiyon mekanizmasını aydınlatmak amacıyla elde edilen deneysel veriler yalancı-birinci dereceden ve yalancı-ikinci dereceden kinetik modellerine uygulanmıştır. Temas süresi 5-180 dakika aralığında, sıcaklık ise 20-50 °C aralığında incelenmiştir.

Deneysel çalışmada, biyosorpsiyon sürecinde dengeye ulaşıldığı zaman çözeltiler mavi bant süzgeç kağıdından süzölmüş, çözeltide kalan boyarmadde konsantrasyonları UV spektrofotometre ile tayin edilmiştir. Deneyler 3 tekrarlı yapılmıştır. Biyosorpsiyon yüzdesi:

$$\% \text{Biyosorpsiyon} = \frac{C_i - C_s}{C_i} \times 100$$

formülü ile hesaplanmıştır. C_i ve C_s sırasıyla boyarmaddenin başlangıç ve biyosorpsiyondan sonraki son konsantrasyonlardır.

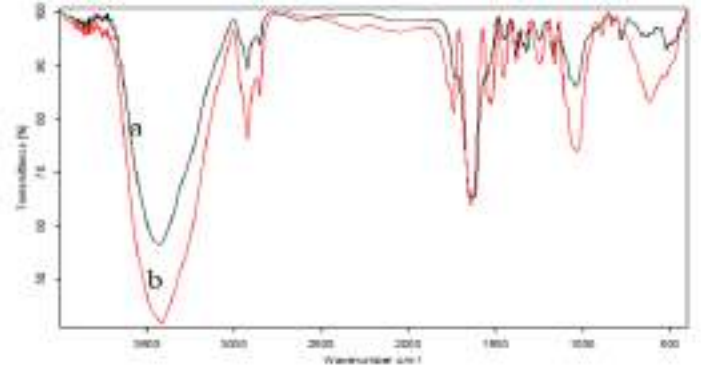
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Biyosorbanın Karakterizasyonu

3.1.1. FT-IR Analizleri

HCY ve MCY biyokütlelerinin yüksüz ve boyarmadde yüklü durumdaki spektrumları alınarak karşılaştırılmıştır.

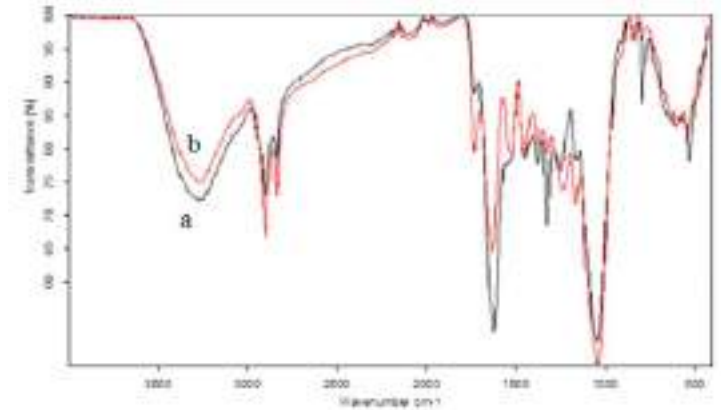
Şekil 3.1 ve 3.2 de sırasıyla kurutulmuş yüksüz ve yüklü durumdaki HCY ve MCY biyokütlelerinin 400-4000 cm^{-1} aralığındaki FT-IR spektrumları verilmiştir. Biyosorbent-boyarmadde etkileşimleri hakkında bilgi edinebilmek için spektrumlar birbirleri ile kıyaslanarak yorumlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.1. HCY biyokütlesinin FT-IR spektrumları (a)yüksüz (b)boyarmadde yüklü

Şekil 3.1 de en belirgin olarak, 3415-3430 cm^{-1} aralığında O-H ve N-H gerilme titreşimlerine ait pikler, 2853-2960 cm^{-1} aralığında alifatik zincire bağlı $-\text{CH}_2$ ve $-\text{CH}_3$ gruplarının gerilme titreşim pikleri, 1600-1800 cm^{-1} aralığında C=O gerilme titreşim pikleri, 1417-1570 cm^{-1} aralığında C=N ve C=C gerilme titreşim pikleri, 1160-1325 cm^{-1} aralığında C-O gerilme titreşim pikleri ve 1247 cm^{-1} de ise S-O gerilim titreşimine ait pikler gözlenmektedir.

Boyarmadde biyosorpsiyonundan sonra O-H ve N-H gerilim titreşimlerine ait pikler, C=O, C=N ve C=C gerilme titreşim pikleri ile C-O gerilme titreşim piklerinde daha düşük dalga sayısı yönünde kaymalar gözlenmiştir. Bu durum HCY biyokütlesi yüzeyindeki fonksiyonel gruplar ile boyarmaddenin etkileştiği yönünde yorumlanmaktadır. Benzer sonuçlar RR120 nin Moringa Oliefera tohumları üzerine (Çelekli ve ark., 2019), kuaterner amin ile modifiye edilmiş portakal kabuğu tozu üzerine (Munagapati ve ark., 2019); ve Chara contraria üzerine (Çelekli ve ark., 2012) biyosorpsiyonunda da gözlenmiştir.



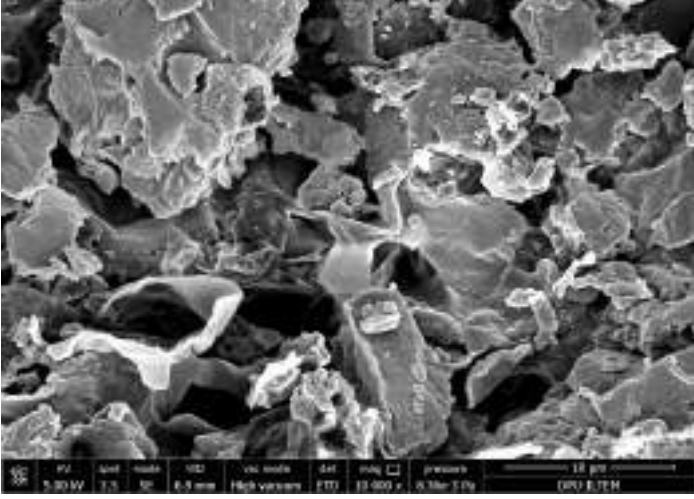
Şekil 3.2. MCY biyokütlesinin FT-IR spektrumları (a)yüksüz (b)boyarmadde yüklü

Şekil 3.2'de 3287-3312 cm^{-1} aralığında O-H ve N-H gerilim titreşim pikleri, 2849-2917 cm^{-1} aralığında alifatik zincire bağlı $-\text{CH}$ titreşim pikleri, 1619-1730 cm^{-1} aralığında C=O pikleri, 1440-1547 cm^{-1} aralığında C=N ve C=C gerilme titreşim pikleri, 1318 ve 1369 cm^{-1} de C-O gerilme titreşim pikleri ve 1230-1247 cm^{-1} aralığında S-O gerilim titreşimine ait pikler kayda değer pikler olarak gözlenmektedir. Boyarmadde biyosorpsiyonundan sonra -OH ve -NH gerilme titreşim piklerinde, C=O, C=N, C=C ve S-O gerilme titreşimlerine ait piklerde kaymalar gözlenmiştir. Kaymaların sebebi, MCY yüzeyindeki fonksiyonel gruplar ile

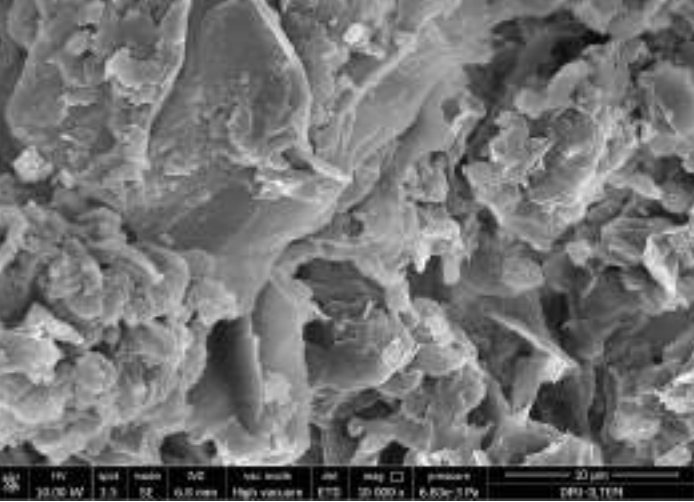
boyarmadde etkileşimine dayandırılmaktadır. (Jawad ve ark., 2019; Stavrinou ve ark., 2018 ; Naveen ve ark., 2011).

3.1.2. SEM Analizleri

Şekil 3.3 ve Şekil 3.5 de HCY ve MCY biyokütlelerinin; Şekil 3.4 ve Şekil 3.6 da ise sırası ile bu biyokütlelerin RR 120 boyarmaddesi ile yüklendikten sonraki taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir.

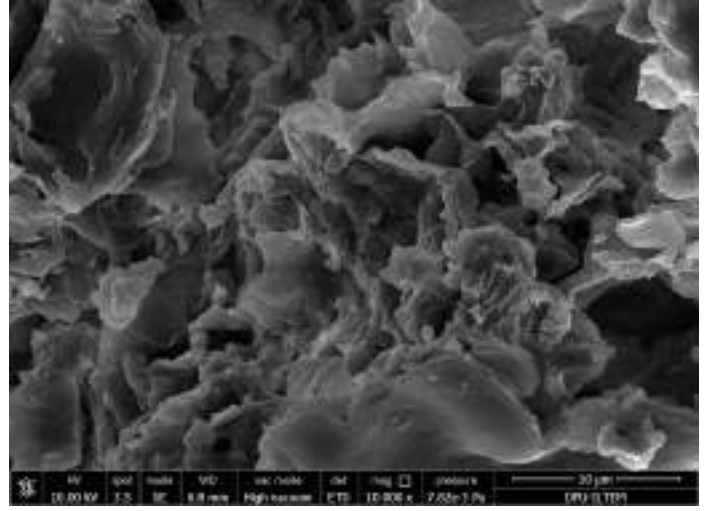


Şekil 3.3. HCY biyokütlesinin biyosorpsiyon öncesi SEM görüntüsü

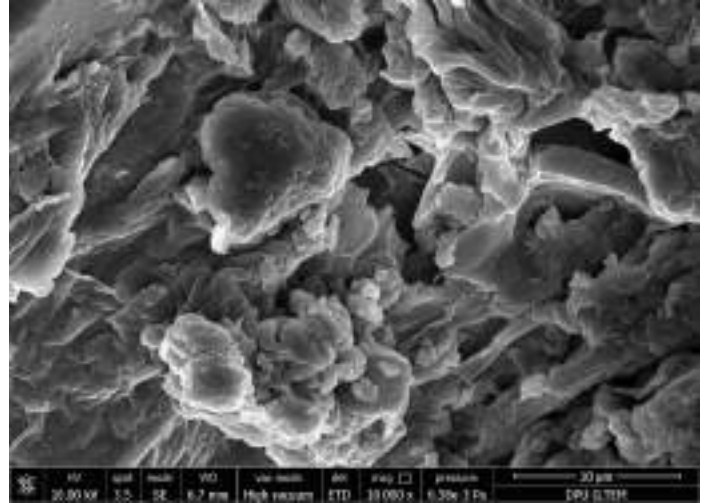


Şekil 3.4. HCY biyokütlesinin RR120 boyarmaddesi ile yüklendikten sonraki SEM görüntüsü

Şekil 3.3 ve Şekil 3.5 de HCY ve MCY biyokütlelerinin boyarmadde biyosorpsiyonundan önce pürüzlü ve değişik büyüklükte gözenekli yüzey yapılarına sahip olduğu gözlenmektedir (Deniz ve Karaman, 2014). Biyosorpsiyondan sonra (Şekil 3.4 ve Şekil 3.6) boyarmaddenin bu gözenekleri doldurması ile her iki biyokütlenin de yüzeyinin daha pürüzsüz bir hal aldığı görülmüştür (Stavrinou ve ark., 2018; Pereira ve ark., 2018; Ahmad ve ark., 2018).



Şekil 3.5. MCY biyokütlesinin biyosorpsiyon öncesi SEM görüntüsü



Şekil 3.6. MCY biyokütlesinin RR120 boyarmaddesi ile yüklendikten sonraki SEM görüntüsü

Biyokütlenin modifikasyondan önceki ve sonraki yüzey görüntüleri karşılaştırıldığında ise (şekil 3.3 ve 3.5) biyokütlenin ham halinde kırılmamış yüzeyler gözlenirken modifikasyondan sonra MCY yüzeyinde oluşmuş yarıklar ve küresel boşluklar dikkat çekmektedir. Bu yarıklar ve boşluklar toplam yüzey alanını arttırmakta ve boyarmadde gideriminde ve biyosorpsiyon kapasitesini arttırmakta etken rol oynamaktadır (Çelekli ve ark., 2019).

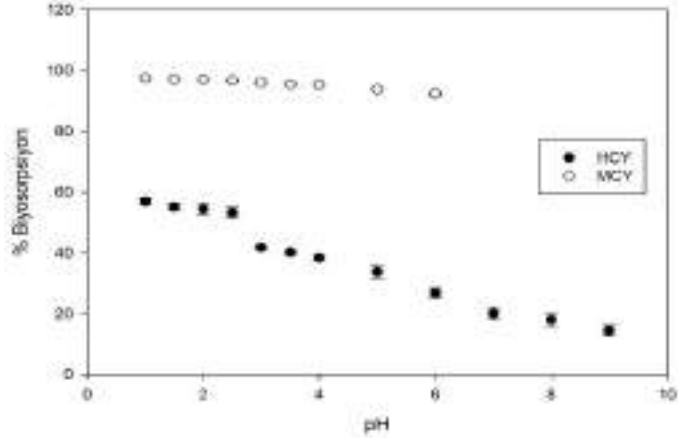
3.1.3. Zeta Potansiyeli Ölçümleri

HCY ve MCY biyokütlelerinin zeta potansiyelleri sırasıyla -20,7 mV ve -14,1 mV olarak ölçülmüştür. Bu değerler, ham biyokütlenin sitrik asit ile muamele edilmesinden sonra elde edilen MCY biyokütlesinin yüzey yükünün arttığını ve dolayısıyla modifikasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini doğrulamıştır (Zhong ve ark., 2011). HCY üzerine RR120 biyosorpsiyonundan sonra HCY nin -20,7 mV olan zeta potansiyeli -21,5 mV değerine; MCY nin -14,1 mV olan zeta potansiyel değeri ise -17,5 mV değerine düşmüştür. RR120 boyarmaddesi yüzeyinde 6 tane SO_3^- grubu içeren anyonik bir boyarmadde (Ayachi ve ark., 2019). Biyosorpsiyondan sonra bu fonksiyonel grupların biyokütle yüzeyinde yer almasından dolayı yüzey yükleri azalmış ve biyosorpsiyonun gerçekleştiği kanıtlanmıştır (Ay ve ark., 2012).

3.2. Biyosorpsiyon Denejlerinin Yapılışı

3.2.1. pH Etkisi

pH etkisi biyosorpsiyon denejlerinde çalışılan en önemli parametrelerden biridir. Tane boyutu 250 μm’ de sabit tutularak pH 1-9 aralığında değiştirilmiş ve pH’ın biyosorpsiyon verimine etkisi incelenmiştir.

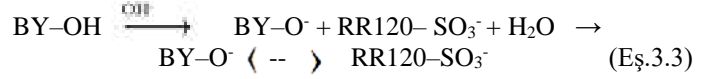
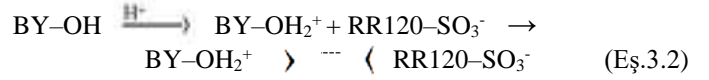


Şekil 3.7. RR120 boyarmaddesinin oda sıcaklığında HCY ve MCY biyokütelleri üzerine adsorpsiyonunda pH’ın etkisi (tane boyutu= 250μm, m=1 g/L, RR120 derişimi=100 mg/L, V=50 mL, t=60 dk, k.h.=500 rpm).

Şekil 3.7’de RR120 boyarmaddesinin HCY ve MCY biyokütelleri üzerine biyosorpsiyonunda pH’ın etkisi incelenmiştir. Her iki biyokütle için de, artan pH değerleri ile biyosorpsiyon veriminin azaldığı gözlenmektedir. En yüksek biyosorpsiyon verimine pH=1 de ulaşılmıştır. Bu pH değerinde, HCY için %56,83 olan verim, modifikasyon işleminden sonra elde edilen MCY biyoküteli için %97,38 değerine yükselmiştir. Modifikasyondan sonra gözlenen biyosorpsiyon kapasitesindeki bu artışı, MCY’nin yüzey elektrik yükündeki zeta potansiyeli değişimi ile açıklamak mümkündür (Cao ve ark., 2014). *Juglans Regia* L. yaprağının ham ve modifiye yüzeyindeki amin, hidroksil, karboksil ve karbonil gibi çeşitli fonksiyonel gruplar çözelti pH’ından etkilenir (Dawood and Sen, 2012; Mall ve ark., 2006). Düşük pH’lı özelliler yüksek konsantrasyonda pozitif yüklü hidrojen iyonları içerirler. Yüzeydeki bu fonksiyonel grupların protonlanmasının ardından pozitif yüklü bu gruplar ile RR120 boyarmaddesinin sülfonat grupları arasında elektrostatik etkileşim meydana gelir. Bu etkileşim sonucu boyarmadde başarılı bir şekilde uzaklaştırılabilmemiştir. Sitrik asitle modifikasyondan sonra giderim veriminin artması, sitrik asidin yapısında yer alan karboksil gruplarından kaynaklanmaktadır. Böylece protonlanan grup sayısı ve dolayısıyla giderim verimi artmıştır. Eşitlik 3.1 de ham ve modifiye *Juglans Regia* L. yaprağından oluşan biyokütellerin yüzeyindeki (BY) amin gruplarının protonlanması ile boyarmadde arasında gerçekleşen elektrostatik etkileşim gösterilmiştir (Wang ve ark., 2010):



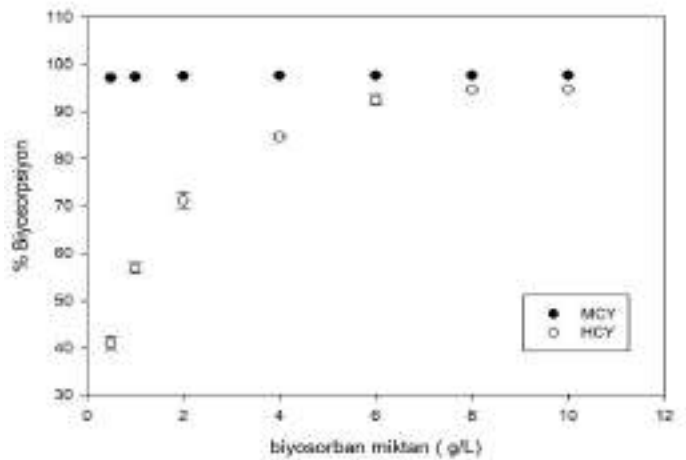
Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3 de ise ham ve modifiye biyokütellerin yüzeyindeki hidroksil gruplarının (BY-OH) RR120 boyarmaddesi ile etkileşiminin pH ile nasıl değiştiği görülmektedir. (Eş.3.2)



Düşük pH’larda pozitif yüklü BY negatif yüklü RR120 ile etkileşime girerek boyarmadde giderimini sağlamaktadır. Yüksek pH’larda ortamda bol miktarda OH⁻ iyonları bulunmakta ve bu iyonlar ile RR120 molekülleri arasında meydana gelen iyonik itmeler daha düşük biyosorpsiyon yüzdesine neden olmaktadır (Aksu ve Akın, 2010; Akar ve ark., 2011; Aksakal ve Uçun, 2010).

3.2.2. Biyosorban Miktarının Etkisi

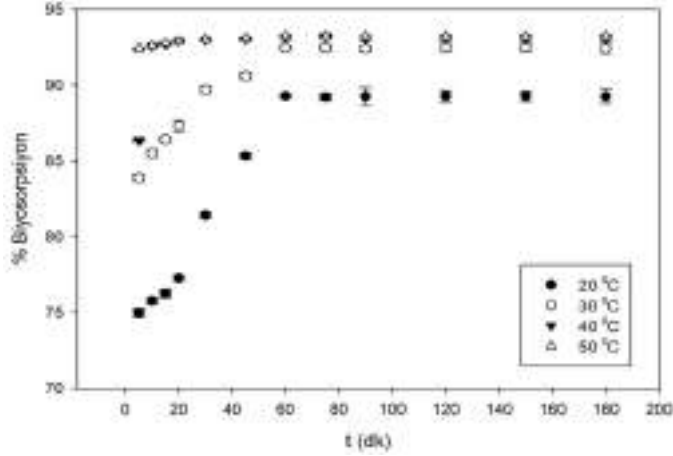
Biyosorban miktarı RR120’nin sulu çözeltiden biyosorpsiyonunda önemli rol oynayan bir diğer etmendir. Denejler farklı biyosorban miktarları (0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 6,0, 8,0, 10,0 g/L) ile pH=1 de sabit başlangıç RR120 konsantrasyonunda (100 mg/L) gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8’de biyosorban miktarındaki değişimin biyosorpsiyon verimi üzerine etkisi gösterilmiştir. RR120’nin HCY ile giderim verimi biyosorban miktarı 0,5 ten 10,0 g/L ye değiştikçe, %41,04 den %94,70 e artmıştır. MCY ile giderim verimi ise artan biyosorban miktarı ile %97,14 den %97,62 ye değişmiştir. Bu durum biyosorban miktarı arttıkça, biyosorpsiyon için gerekli yüzey alanının ve aktif bağlanma bölgelerinin sayısının artması ile açıklanabilir (Fiorentin ve ark., 2010; Gupta ve ark., 2010; elekli ve ark., 2012). Her iki biyokütle için de biyosorpsiyon verimi belirli bir miktara kadar hızla artarken, bu miktarlardan sonra kaydadeğer bir artış gözlenmemiş ve hemen hemen sabit kalmıştır. Belirli bir konsantrasyondan sonra biyosorban miktarını artırmak, kısmi topaklanmalara sebep olmakta, bu durum da biyosorpsiyon için gerekli bölgelerin sayısını düşürerek % giderim miktarının sabitlenmesine neden olmaktadır (Cardoso ve ark., 2011; elekli ve ark., 2012). Çalışmada, bu sebeplerle HCY ve MCY için optimum biyosorban miktarları sırasıyla 6,0 g/L ve 4,0 g/L olarak belirlenmiş ve tüm denejlerde bu şekilde kullanılmıştır. Bu miktarlara karşılık gelen giderim verimleri ise %92,4 ve % 97,6 dır.



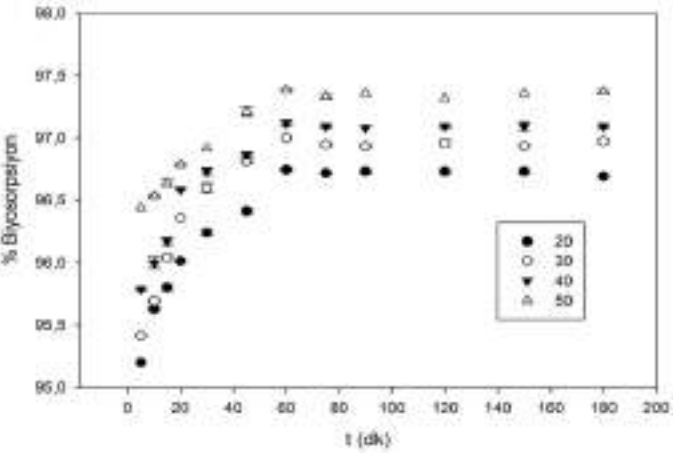
Şekil 3.8. RR120 boyarmaddesinin oda sıcaklığında HCY ve MCY biyoküteli üzerine adsorpsiyonunda biyosorban miktarının etkisi (pH=1, RR120 derişimi=100mg/L, V=50 mL, t=60 dk, k.h.=500rpm).

3.2.3. Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi

RR120 boyarmaddesinin ham ve modifiye *JUGLANS REGIA* L. yaprağı üzerine biyosorpsiyonunda temas süresi ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Temas süresi 5-180 dakika zaman aralığında değiştirilmiş olup; 20, 30, 40 ve 50 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklıkta çalışılmıştır.



Şekil 3.9. RR120 boyarmaddesinin HCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda temas süresi ve sıcaklığın etkisi (pH=1, RR120 derişimi=100 mg/L, m=6 g/L, V=50 mL, k.h.=500rpm).



3.10. RR120 boyarmaddesinin MCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda temas süresi ve sıcaklığın etkisi (pH=1, RR120 derişimi=100 mg/L, m=4 g/L, V=50 mL, k.h.=500rpm).

HCY ve MCY biyokütlelerinin her ikisi için de biyosorpsiyon verimi tüm sıcaklıklarda 60 dakikaya kadar artmış ve bu temas süresinden sonra dengeye ulaşılmıştır. Başlangıçta biyokütlelerin yüzeyindeki aktif bağlanma bölgelerinin boş olması nedeniyle biyosorpsiyon kapasitesi hızlı bir şekilde artış göstermiş, ilerleyen zamanla bölgelerin boyarmadde molekülleri ile dolmasıyla yüzeyde doygunluk oluşmaya başlamış ve kapasitedeki artış azalarak belli bir temas süresinde dengeye ulaşılmıştır (Morosanu ve ark., 2017; Roy and Mondal, 2017) Ayrıca tüm sıcaklıklarda denge temas süresine kadar kapasitenin artması, RR120 boyarmaddesinin bu biyokütleler üzerine olan adsorpsiyonunun hız kontrollü bir süreç olduğunu göstermektedir (Özcan ve ark., 2007). Ham ve modifiye biyokütlelerin denge adsorpsiyon kapasiteleri artan sıcaklıkla birlikte artış göstermektedir. Bu durum RR120 boyarmaddesinin

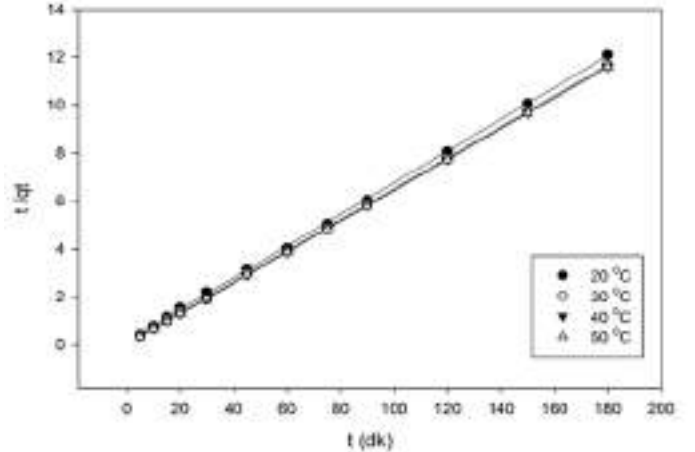
kullanılan biyokütleler üzerine adsorpsiyonunun endotermik yapısını ortaya koymaktadır (Özcan ve ark., 2007). Sıcaklık 20 °C den 50 °C ye artırıldığında, biyosorpsiyon kapasiteleri, denge temas süresi olan 60 dakikada HCY için %89,28 ten %93,23 ye; MCY için ise %96,75 den %97,39'a yükselmiştir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak biyosorpsiyon veriminin arttığı gözlenmektedir. Bu etki yüksek sıcaklıklarda biyokütlelerin adsorpsiyon için daha fazla aktif bağlanma bölgelerine sahip olmasıyla ve boyarmadde molekülleri ile bu bölgeler arasındaki bağların daha güçlü olmasıyla açıklanabilir. Aynı zamanda, yüksek sıcaklık boyarmadde moleküllerinin daha fazla hareketli olmasına neden olmakta, vizkoziteyi düşürmekte ve bunlara bağlı olarak moleküllerin katı yüzeyine olan yakınlığını artırmaktadır (Morosanu ve ark., 2017).

3.2.4. Biyosorpsiyon Denge Bulgularının Kinetik Modelle İncelenmesi

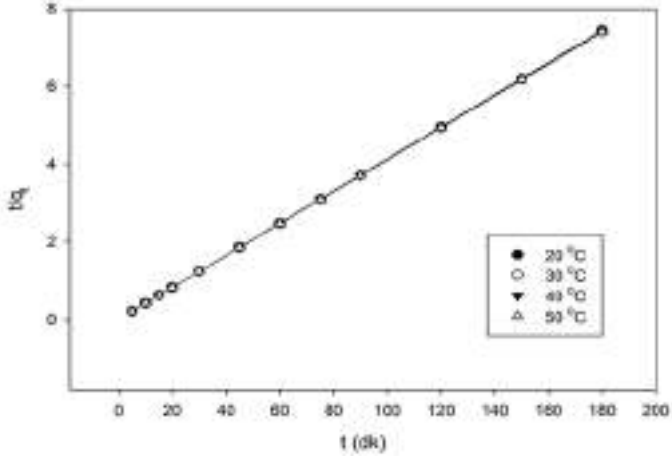
RR120 boyarmaddesinin HCY ve MCY biyokütleleri üzerine adsorpsiyon mekanizmasının aydınlatılması için farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel sonuçlara, yalancı-ikinci dereceden kinetik model uygulanmıştır.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_2^2} + \frac{1}{q_2} t \quad (\text{Eş. 3.4})$$

t zaman (dk); k_2 yalancı-ikinci-derece hız sabiti (g/mg dk), q_2 maksimum biyosorpsiyon kapasitesi (mg/g), q_t ise herhangi bir t anındaki biyosorplanan madde miktarıdır (mg/g). k_2 ve q_2 değerleri t'nin t/ q_t ye karşı çizilen grafiğinden hesaplanmaktadır (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12). Elde edilen kinetik parametreler çizelge 3.1 ve çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.11. HCY biyokütlesi üzerine RR120 nin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonunda yalancı-ikinci dereceden biyosorpsiyon kinetiği



Şekil 3.12 MCY biyokütlesi üzerine RR120 nin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonunda yalancı-ikinci dereceden biyosorpsiyon kinetiği

Çizelge 3.1 RR120 boyarmaddesinin farklı sıcaklıklarda HCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda yalancı-ikinci dereceden kinetik modele ilişkin parametreler

HCY	k_2 (g/mg dk)	q_2 (mg/g)	r^2
20 °C	0,0299	15,1174	0,9998
30 °C	0,1101	15,4750	0,9999
40 °C	0,5524	15,5281	0,9999
50 °C	0,7700	15,5417	0,9999

Çizelge 3.2 RR120 boyarmaddesinin farklı sıcaklıklarda MCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda yalancı-ikinci dereceden kinetik modele ilişkin parametreler

MCY	k_2 (g/mg dk)	q_2 (mg/g)	r^2
20 °C	0,3500	24,1972	0,9999
30 °C	0,3834	24,2566	0,9999
40 °C	0,4026	24,2887	0,9999
50 °C	0,4404	24,3549	0,9999

DeneySEL sonuçlar, RR120 nin HCY ve MCY biyokütleleri ile biyosorpsiyonunun, çalışılan tüm sıcaklıklarda yüksek korelasyon katsayısı (r^2) değerleri ile yalancı-ikinci dereceden kinetik modele uyduğunu göstermiştir. Yalancı-ikinci dereceden hız sabitleri, sıcaklık 20 °C den 50 °C ye arttıkça HCY için 0,0299 dan 0,7700 g/mg dk değerine; MCY için ise 0,3500 den 0,4404 g/mg dk değerine düzenli bir artış sağlamıştır. Bu durum RR120 boyarmaddesinin, bu biyokütleler üzerine adsorpsiyonunun hız kontrollü bir süreç olduğunu ispatlamaktadır (Özcan ve ark., 2007).

3.2.5. Biyosorpsiyon İzotermi

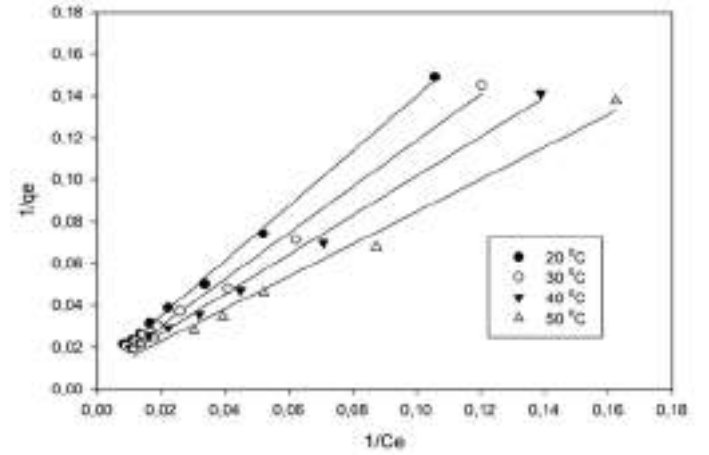
Bu çalışmada RR120 boyarmaddesinin HCY ve MCY biyokütleleri üzerine biyosorpsiyonun denge karakteristiklerini açıklamak için Langmuir (Eş. 3.5) ve Freundlich (Eş. 3.6) lineer izoterm model eşitlikleri kullanılmıştır.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{(q_{\max} K_L)} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (\text{Eş. 3.5})$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{Eş. 3.6})$$

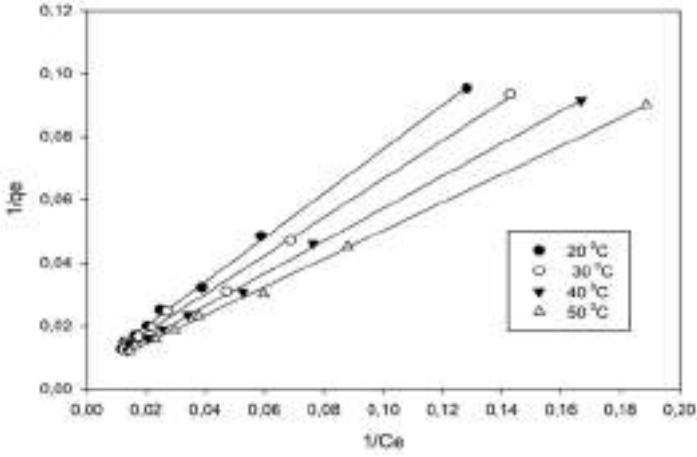
Eşitliklerde yer alan q_{\max} maksimum biyosorpsiyon miktarını (mg/g), q_e denge biyosorpsiyon kapasitesini (mg/g), C_e denge çözelti konsantrasyonunu (mg/L), K_L ise biyosorpsiyon serbest enerjisi ile ilişkili olan Langmuir biyosorpsiyon sabitini (L/mg) ifade etmektedir. K_F (L/g) ve n ise Freundlich izoterm sabitleridir. K_F , biyosorpsiyon kapasitesini gösterir ve değeri ne kadar büyükse kapasite o kadar yüksektir. n (birimsiz), heterojenite faktörüdür.

Şekil 3.13 ve Şekil 3.14' de sırasıyla ham ve modifiye biyokütleler için farklı sıcaklıklarda Langmuir izoterm modeline ait grafikler çizdirilerek korelasyon katsayısı (r^2) değerleri bulunmuştur. Söz konusu grafiklerden hesaplanan K_L , R_L ve q_{\max} değerleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.13 RR120 nin HCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda Langmuir izoterm grafiği.

Langmuir izotermi, adsorpsiyonun hem yapı hem de enerji bakımından homojen aktif bağlanma bölgelerinde meydana geldiğini varsayarak, biyosorbanın dış yüzeyinde oluşan tek tabakalı tutunmayı açıklamaya çalışır (Munagapati ve ark., 2019).



Şekil 3.14 RR120 nin MCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda Langmuir izoterm grafiği.

Çizelge3.3 Farklı sıcaklıklarda RR120 boyarmaddesinin HCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda Langmuir izoterm sabitleri.

HCY	K_L (L/mg)	q_{max} (mg/g)	r_L^2	R_L
20 °C	$6,76 \times 10^{-3}$	113,01	0,9982	0,270
30 °C	$7,51 \times 10^{-3}$	120,71	0,9933	0,2498
40 °C	$8,32 \times 10^{-3}$	128,06	0,9954	0,2311
50 °C	$9,59 \times 10^{-3}$	135,16	0,9879	0,2068

Çizelge3.4 Farklı sıcaklıklarda RR120 boyarmaddesinin MCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda Langmuir izoterm sabitleri.

HCY	K_L (L/mg)	q_{max} (mg/g)	r_L^2	R_L
20 °C	$8,43 \times 10^{-3}$	169,45	0,9985	0,2287
30 °C	$9,50 \times 10^{-3}$	173,28	0,9963	0,2083
40 °C	$1,08 \times 10^{-2}$	178,86	0,9986	0,1880
50 °C	$1,24 \times 10^{-2}$	181,21	0,9988	0,1678

Tek tabakalı RR120 biyosorpsiyonu, artan sıcaklıkla artış göstermiş ve 50 °C de HCY için maksimum 135,16 mg/g değerine, MCY için ise maksimum 181,21 mg/g değerine ulaşmıştır. Bu durum, RR120 nin HCY ve MCY üzerine biyosorpsiyon prosesinin endotermik yapısını göstermektedir (Zhong ve ark., 2011).

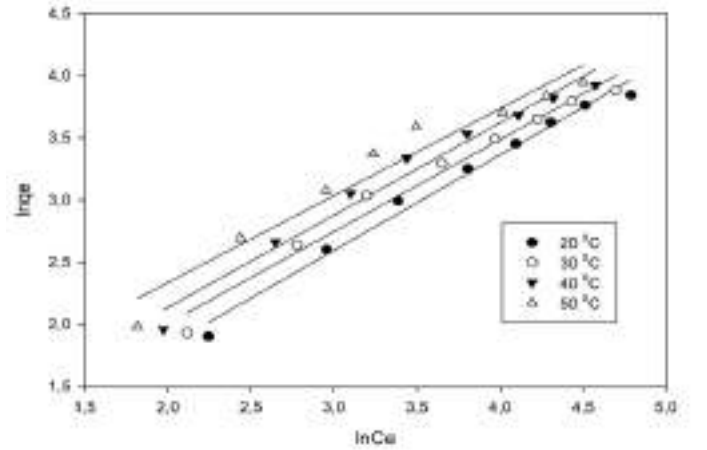
Langmuir izotermi aynı zamanda birimsiz bir sabit olan R_L yardımıyla da açıklanabilir. R_L ayırma faktörü veya denge parametresi olarak da bilinir. Biyosorpsiyon prosesinin kendiliğinden gerçekleşip gerçekleşmediği konusunda bilgi verir. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$e-ISSN: 2148-2683$$

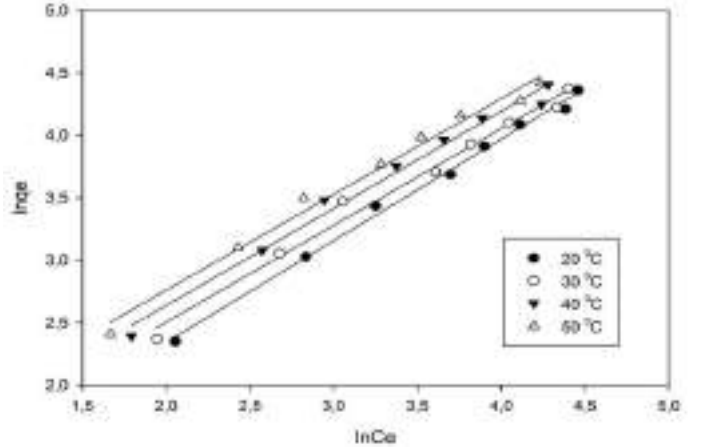
$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0} \quad (\text{Eş. 3.7})$$

Eşitlikte yer alan C_0 başlangıç boyarmadde konsantrasyonunu ifade etmektedir. Her iki biyokütle için de hesaplanan R_L değerlerinin 0 ile 1 arasında olması, RR120 nin bu biyokütller üzerine adsorpsiyonunun istemli olduğunu ifade etmektedir (Kızıлтаş, 2021; Munagapati ve ark., 2019; Külcü, 2012).

Şekil 3.15 ve Şekil 3.16' da sırasıyla ham ve modifiye biyokütller için farklı sıcaklıklarda Freundlich izoterm modeline ait grafikler çizdirilerek korelasyon katsayısı (r^2) değerleri bulunmuştur. Söz konusu grafiklerden hesaplanan K_F ve n değerleri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6' da verilmiştir



3.15 RR120 nin HCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda Freundlich izoterm grafiği.



Şekil 3.16 RR120 nin MCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda Freundlich izoterm grafiği.

Çizelge 3.5 Farklı sıcaklıklarda RR120 boyarmaddesinin HCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda Freundlich izoterm sabitleri.

HCY	K _F (L/g)	n	r ²
20 °C	1,3387	1,3034	0,9861
30 °C	1,6943	1,3529	0,9772
40 °C	1,9190	1,3480	0,9760
50 °C	2,5530	1,4306	0,9483

Çizelge 3.6 Farklı sıcaklıklarda RR120 boyarmaddesinin MCY biyokütlesi üzerine adsorpsiyonunda Freundlich izoterm sabitleri.

HCY	K _F (L/g)	n	r ²
20 °C	2,0493	1,2295	0,9954
30 °C	2,5966	1,2901	0,9868
40 °C	2,9558	1,2865	0,9871
50 °C	3,4077	1,3034	0,9867

Freundlich izoterm modeli çok katmanlı biyosorpsiyonu açıklar. Biyokütle yüzeyinde biyosorpsiyon ısı ve adsorpsiyon bölgelerinin homojen olmayan dağılımları söz konusudur ve adsorbe olmuş moleküller arasında etkileşim vardır (Stavrinou ve ark., 2018; Foo and Hameed, 2012). Ayrıca Freundlich hız sabiti olan K_F değerinin yüksek olması, yüksek adsorpsiyon kapasitesine işaret etmektedir (Peraira ve ark., 2018; Kale, 2019). HCY için 2,55 L/g; MCY için ise 3,40 L/g K_F değerlerine ulaşılmıştır. n değeri ise adsorpsiyon bölgelerinin heterojenlik derecesi hakkında bilgi verir. n sıfıra yaklaştıkça yüzeydeki bu bölgelerin heterojenliği artar, n değerinin birden büyük olması ise adsorpsiyonun uygunluğuna işaret etmektedir (Özcan, 2005; Khan Rao ve Khan, 2009). RR120'nin HCY ve MCY üzerine biyosorpsiyonunda elde edilen maksimum n değerleri sırasıyla 1,43 ve 1,30 olup bu durum bu biyokütlelerin RR120 adsorpsiyonu için uygun olduğunu göstermektedir.

Deneysel sonuçların Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanmasıyla elde edilen grafiklerin r² değerleri karşılaştırıldığında, RR120 nin HCY ve MCY biyokütleleri üzerine adsorpsiyonunun, Langmuir izoterm modeline daha iyi uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada RR120 boyarmaddesinin *JUGLANS REGIA* L. yaprağı üzerine sulu çözeltiden biyosorpsiyonunda, biyosorpsiyon kapasitesini artırmak için biyokütlenin sitrik asit ile modifikasyonu araştırılmıştır. Deneyler pH, biyosorban miktarı, temas süresi ve sıcaklığın fonksiyonu olarak karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Maksimum

biyosorpsiyon kapasitesine ham ve modifiye biyokütlelerin her ikisi için de pH 1 değerinde ulaşılmıştır. Optimum biyokütle miktarı HCY için 6 gL⁻¹ olarak tespit edilirken MCY için 4 gL⁻¹ olarak bulunmuştur. Biyosorpsiyon kinetiği en iyi yalancı-ikinci dereceden kinetik modelle açıklanmıştır. Biyosorpsiyon dengesini açıklamak için Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri kullanılmış ve denge verilerinin çalışılan konsantrasyon aralığında ve seçilen tüm sıcaklıklarda Langmuir izoterm modeline daha iyi uyum sağladığı bulunmuştur. Buradan elde edilen tek tabakalı maksimum adsorpsiyon kapasitesi 50 °C'de HCY için 135,16 mg/g ;MCY için ise 181,21 mg/g olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, ham ve modifiye *JUGLANS REGIA* L. yaprağı atık sulardan boyarmadde gideriminde kullanılabilir, ucuz, bol ve yerel olarak ulaşılabilir alternatif bir biyosorbenttir. Modifikasyon biyosorpsiyon kapasitesini önemli miktarda artırmıştır.

Kaynakça

- Ahmad, S., Wong, Y. C. & Veloo, K. V. (2018, April). Sugarcane bagasse powder as biosorbent for reactive red 120 removals from aqueous solution. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 140(1) 120-27.
- Akar, S. T., Gorgulu, A., Akar, T. & Celik, S. (2011). Decolorization of Reactive Blue 49 contaminated solutions by Capsicum annuum seeds: Batch and continuous mode biosorption applications. *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 125-133.
- Aksakal, O. & Uzun, H. (2010). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of textile dye (Reactive Red 195) onto *Pinus sylvestris* L. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1-3), 666-672.
- Aksu, Z. & Akın, A. B. (2010). Comparison of Remazol Black B biosorptive properties of live and treated activated sludge. *Chemical Engineering Journal*, 165(1), 184-193.
- Ay, Ç. Ö., Özcan, A. S., Erdoğan, Y. & Özcan, A. (2012). Characterization of *Punica granatum* L. peels and quantitatively determination of its biosorption behavior towards lead (II) ions and Acid Blue 40. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 100, 197-204
- Ayachi, F., Lima, E. C., Sakly, A., Mejri, H. & Lamine, A. B. (2019). Modeling of adsorption isotherms of reactive red RR-120 on *spirulina platensis* by statistical physics formalism involving interaction effect between adsorbate molecules. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 141, 47-59.
- Bayramoğlu, G., Çelik, G. & Arica, M. Y. (2006). Studies on accumulation of uranium by fungus *Lentinus sajor-caju*. *Journal of Hazardous Materials*, 136(2), 345-353.
- Bulgariu, L., Escudero, L. B., Bello, O. S., Iqbal, M., Nisar, J., Adegoke, K. A. & Anastopoulos, I. (2019). The utilization of leaf-based adsorbents for dyes removal: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 276, 728-747.
- Cao, J. S., Lin, J. X., Fang, F., Zhang, M. T. & Hu, Z. R. (2014). A new absorbent by modifying walnut shell for the removal of anionic dye: kinetic and thermodynamic studies. *Bioresource Technology*, 163, 199-205.
- Cardoso, N. F., Lima, E. C., Pinto, I. S., Amavisca, C. V., Royer, B., Pinto, R. B. & Pereira, S. F. (2011). Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1237-1247.

- Chaleshtori, A. N., Meghaddam, F. M., Sadeghi, M., Rahimi, R., Hemati, S. & Ahmadi, A. (2017). Removal of Acid Red 18 (Azo-Dye) from aqueous solution by adsorption onto activated charcoal prepared from almond shell. *Journal of Environmental Science and Management*, 20(2).
- Çelekli, A., Bozkuş, B. & Bozkurt, H. (2019). Development of a new adsorbent from pumpkin husk by KOH-modification to remove copper ions. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 11514-11523.
- Çelekli, A., İlğün, G. & Bozkurt, H. (2012). Sorption equilibrium, kinetic, thermodynamic, and desorption studies of Reactive Red 120 on *Chara contraria*. *Chemical Engineering Journal*, 191, 228-235.
- Dawood, S. & Sen, T. K. (2012). Removal of anionic dye Congo red from aqueous solution by raw pine and acid-treated pine cone powder as adsorbent: equilibrium, thermodynamic, kinetics, mechanism and process design. *Water Research*, 46(6), 1933-1946.
- Deniz, F. & Karaman, Ş. (2014). *Pinus brutia* Ten.(Kızılcım) Kozalak ve Yaprak Biyomasının Boya Biyosorpsiyon/Desorpsiyon Potansiyeli. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 17(3), 19-25.
- dos Santos, V. C. G., de Toledo Gomes, C. A., Dragunski, D. C., Koslowski, L. A. D. & Lunelli, K. (2019). Removal of metals ions from aqueous solution using modified sugarcane bagasse. *Revista Virtual de Química*, 11(4), 1289-1301.
- Fiorentin, L. D., Trigueros, D. E., Módenes, A. N., Espinoza-Quñones, F. R., Pereira, N. C., Barros, S. T. & Santos, O. A. (2010). Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling. *Chemical Engineering Journal*, 163(1-2), 68-77.
- Foo, K. Y. & Hameed, B. H. (2012). Preparation, characterization and evaluation of adsorptive properties of orange peel based activated carbon via microwave induced K₂CO₃ activation. *Bioresource Technology*, 104, 679-686.
- Gupta, V. K., Jain, R. & Shrivastava, M. (2010). Adsorptive removal of Cyanosine from wastewater using coconut husks. *Journal of Colloid and Interface Science*, 347(2), 309-314.
- Gül, Ü. D. & Yıldız, Y. Yüzey Aktif Madde ile Modifiye Edilmiş Atık Yer Fıstığı Kabuğunun Tekstil Boyası Biyosorpsiyonu Kapasitesinin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(3), 533-539.
- Jahanban-Esfahlan, A., Jahanban-Esfahlan, R., Tabibiazar, M., Roufegarinejad, L. & Amarowicz, R. (2020). Recent advances in the use of walnut (*Juglans regia* L.) shell as a valuable plant-based bio-sorbent for the removal of hazardous materials. *RSC Advances*, 10(12), 7026-7047.
- Jawad, A. H., Mamat, N. H., Hameed, B. H. & Ismail, K. (2019). Biofilm of cross-linked chitosan-ethylene glycol diglycidyl ether for removal of reactive red 120 and methyl orange: adsorption and mechanism studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(2), 102965.
- Kale, M. (2019). *Biyokütle kullanılarak ağır metal giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 67 s.
- Katheresan, V., Kansedo, J. & Lau, S. Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: a review. *Journal of environmental chemical engineering*. 6(4), 4676-4697.
- Khan Rao, R.A., Khan M.A. (2009). Biosorption of bivalent metal ions from aqueous solution by an agricultural waste: Kinetics, thermodynamics and environmental effects. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 332, 121-128.
- Kızıldaş, H. (2021). Orange G'nin Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması için α -Fe₂O₃ Nanopartiküllerinin Adsorban Olarak Kullanılması; Adsorpsiyon, Kinetik ve Termodinamik Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21, 43-52.
- Külcü, A. (2012). Metil viyole içeren sulu çözeltilerden renk giderimi için *thamnidium elegans*' in biyosorpsiyon karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 92 s.
- Mall, I. D., Srivastava, V. C. & Agarwal, N. K. (2006). Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash—kinetic study and equilibrium isotherm analyses. *Dyes and pigments*, 69(3), 210-223.
- Morosanu, I., Teodosiu, C., Paduraru, C., Ibanescu, D. & Tofan, L. (2017). Biosorption of lead ions from aqueous effluents by rapeseed biomass. *New Biotechnology*, 39, 110-124.
- Munagapati, V. S., Wen, J. C., Pan, C. L., Gutha, Y. & Wen, J. H. (2019). Enhanced adsorption performance of Reactive Red 120 azo dye from aqueous solution using quaternary amine modified orange peel powder. *Journal of Molecular Liquids*, 285, 375-385.
- Naveen, N., Saravanan, P., Baskar, G. & Renganathan, S. (2011). Equilibrium and kinetic modeling on the removal of Reactive Red 120 using positively charged *Hydrilla verticillata*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(3), 463-469.
- Özcan, A. S., Özcan, A., Tunali, S., Akar, T., Kiran, I. & Gedikbey, T. (2007). Adsorption potential of lead (II) ions from aqueous solutions onto *Capsicum annum* seeds. *Separation Science and Technology*, 42(1), 137-151.
- Özcan, A., Özcan, A. S., Tunali, S., Akar, T. & Kiran, I. (2005). Determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of adsorption of copper (II) ions onto seeds of *Capsicum annum*. *Journal of Hazardous Materials*, 124(1-3), 200-208.
- Paul, J., Rawat, K. P., Sarma, K. S. S. & Sabharwal, S. (2011). Decoloration and degradation of Reactive Red-120 dye by electron beam irradiation in aqueous solution. *Applied Radiation and Isotopes*, 69(7), 982-987.
- Pereira, I. C., Carvalho, K. Q., Passig, F. H., Ferreira, R. C., Rizzo-Domingues, R. C. P., Hoppen, M. I. & Perretto, F. (2018). Thermal and thermal-acid treated sewage sludge for the removal of dye reactive Red 120: Characteristics, kinetics, isotherms, thermodynamics and response surface methodology design. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 7233-7246.
- Roy, T. K. & Mondal, N. K. (2017). Biosorption of Congo Red from aqueous solution onto burned root of *Eichhornia crassipes* biomass. *Applied Water Science*, 7(4), 1841-1854.
- Saleh, M., Yalva, M., Arslan, H. & Gün, M. (2019). Malachite Green Dye Removal from Aqueous Solutions Using *Centauria Solstitialis* Plant and Optimization by Response Surface Method: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Study. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 755-768.
- Smith, J.M. (1982). *Chemical Engineering Kinetics*. McGraw Hill Book Company, 3, 676 s.
- Stavrinou, A., Aggelopoulos, C. A. & Tsakiroglou, C. D. (2018). Exploring the adsorption mechanisms of cationic and

anionic dyes onto agricultural waste peels of banana, cucumber and potato: adsorption kinetics and equilibrium isotherms as a tool. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 6958-6970.

Thieman, W.J. & Palladino, M.A. (2004), *Introduction Biotechnology*, Pearson, 304 s.

Wang, Z., Xiang, B., Cheng, R. & Li, Y. (2010). Behaviors and mechanism of acid dyes sorption onto diethylenetriamine-modified native and enzymatic hydrolysis starch. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1-3), 224-232.

Zhong, Q. Q., Yue, Q. Y., Li, Q., Xu, X. & Gao, B. Y. (2011). Preparation, characterization of modified wheat residue and its utilization for the anionic dye removal. *Desalination*, 267(2-3), 193-200.



Volume Fraction Effect for the Film Formation of PS/PVA Composites by Monitoring Photon Transmission Technique

Sibel Eken Korkut^{1*}

^{1*} Yıldız Technical University, Faculty of Arts & Sciences, Department of Chemistry, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9637-5541), sibeleken@gmail.com

(First received 22 March 2021 and in final form 27 June 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900841)

ATIF/REFERENCE: Eken Korkut, S. (2021). Volume Fraction Effect for the Film Formation of PS/PVA Composites by Monitoring Photon Transmission Technique. *European Journal of Science and Technology*, (25), 267-271.

Abstract

Film forming of the polystyrene (PS) doped Poly Vinyl Alcohol (PVA) particles were studied by photon transmission (PT) technique. The films were prepared as a mixture of PS and PVA particles at different compositions ranging from 10 to 100 wt % for the optical measurements at room temperature the film formation process was monitored by measuring the transmitted light intensity (I_t) from the samples using PT. The film formation includes two stages: void closure and interdiffusion stages. Percolation model was employed to interpret the distribution of PS particles in PVA lattice. Percolation threshold, R_c , was found to be as 0.4 and the volume fraction of PVA as a power law with exponent 1.01 which is very close to the predicted value, 1.00, by the percolation theory.

Keywords: PS, PVA, Mechanic, Photon Transmission, Activation Energies.

PS/PVA Kompozitlerinin Film Oluşumuna Hacim Kesri Etkisinin Işık Geçirgenliği ile İzlenmesi

Öz

Polistren (PS) katkılı Poli Vinil Alkol (PVA) dağılımının film oluşum süreci foton geçirgenliği (PT) teknikle incelenmiştir. Filmler, oda sıcaklığında optik ölçümler için ağırlıkça %10 ile %100 arasında değişen farklı bileşimlerde PS ve PVA dağılımının bir karışımı olarak hazırlandı. Film oluşum süreci, PT kullanılarak numunelerden geçen ışık şiddeti (I_t) ölçülerek izlendi. Film oluşumunun iki aşamada gerçekleştiği gözlemlendi: boşluk kapanması ve difüzyon aşamaları. PVA kafesinde PS parçacıklarının dağılımını yorumlamak için süzme modeli kullanıldı. Süzme teorisine göre, perkolasyon eşiği R_c 0,4 ve PVA'nın hacim kesri için 1.01 tahmin edilen değer olan 1,00'e çok yakın bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: PS, PVA, Mekanik, Foton Taşınımı, Aktivasyon Enerjisi.

* Corresponding Author: xxxx@xxx.xx.xx

1. Introduction

Latex film formation could be obtained by Theoretical and experimental efforts in literature,(Provdner T., 1996). Film formation process of polymer latex can be explained by three steps: (i) water evaporation, deformation and the annealing process. In the annealing of hard latex system, deformation of particles first leads to void closure(Mackenzie & Shuttleworth, 1949; Sperry, Snyder, Odowd, & Lesko, 1994) and then diffusion across particle–particle boundaries start, i.e. the mechanical properties of hard latex films evolve during annealing. (iii) Coalescence of the deformed particles to form a homogeneous film(Mackenzie & Shuttleworth, 1949) where macromolecules belonging to different particles mix by interdiffusion(Pekcan, 1997; Yoo, Sperling, Glinka, & Klein, 1991).

For the last years, producing new materials by filling polymers with inorganic natural or synthetic compounds is gaining intension (Ray & Okamoto, 2003).

(Hallensleben, 2000; Kelly, DeMerlis, Schoneker, & Borzelleca, 2003). PVA has many advantages for industrial products such as adhesive, coatings, surfactant, films, packaging, biodegradable plastic backing sheet in hygiene products (Hallensleben, 2000), and biomedical applications(Jiang, Liu, & Feng, 2011; Yang, Li, & Nie, 2007).

Here, film formation of PS/PVA composite films. The reason of usage of Polystyrene (PS) is that easily processing, its solubility in many different types of solvents and its clarity which allows dispersion of PVA to be optically observed at the micron scale. After each annealing step of PS/PVA films having various compositions above T_g of PS, I_{tr} , was followed during the film formation. Activation energies were computed with respect to the change of I_{tr} . Percolation threshold, R_c , was found to be as 0.4 (40 wt% PS).

2. Material and Method

2.1. Materials

PS latexes were prepared by polymerization process of styrene (99 % pure from Alfa Asea) as a monomer, dimethacrylate (PolyFluor™ 511 from Polysciences, Inc.) and KPS (Potassium persulphate) was used as an initiator. KPS added after dissolved at 90 °C. Polyvinyl alcohol (PVA) (Boysan Co., Turkey) was purchased in white powder form. 0.01 gr/ml PVA was prepared as a stock.

2.2. PS/PVA Composite Film Preparation

Eight different films by mixing of PS and PVA. A drop cast methode was used for the preparation of the samples. Equal drops were put on a glass plates with the size of 0.5x2.2 cm² after drying of solution. PS volume in matrix as 10, 20, 40, 60, 80, 90, 100 wt %. After drying (at room temperature), all samples were annealed starting from 100 to 270°C.

2.3. Optical Measurements

UV Visible Spectrometer (BW&TEK) was used as a for I_{tr} measurements at room conditions. Film positions should be

perpendicular to the light as in Fig 1. SEM images of pure PS and 40% wt PS films In Fig2a and b, respectively

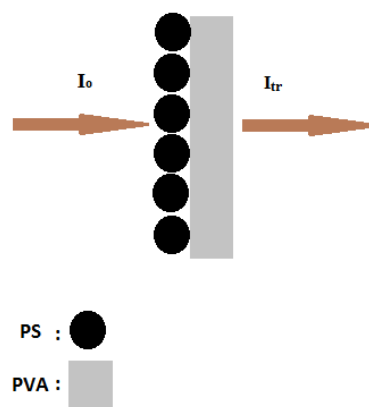


Figure 1. A cartoon figure of the film position to the light and the transmitted light.

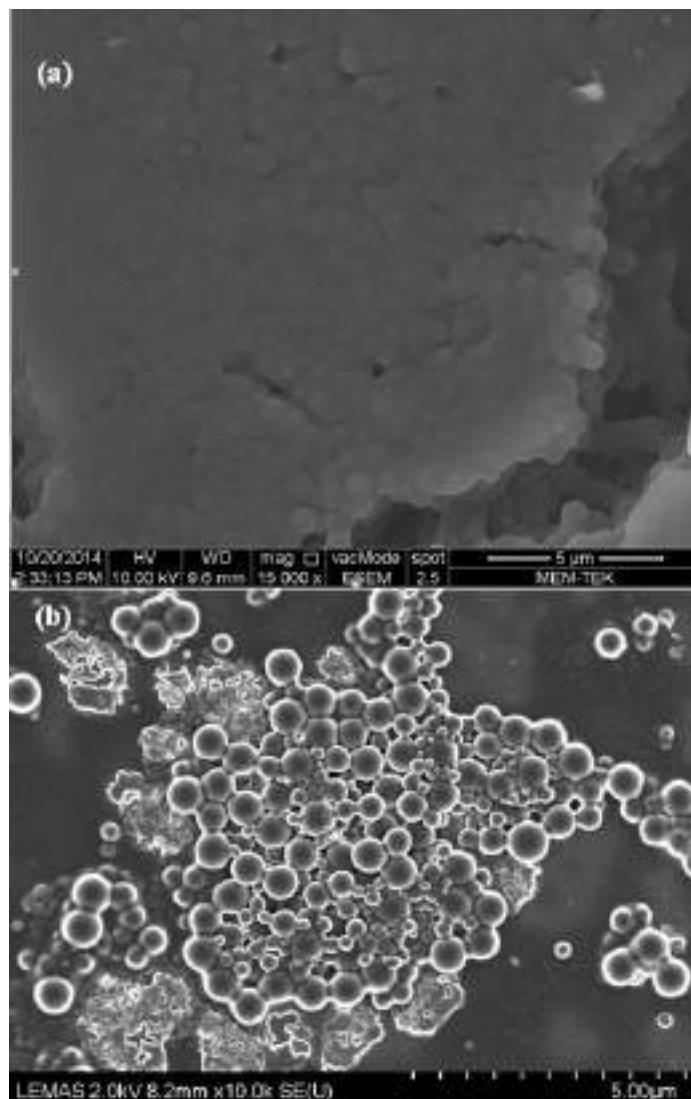


Figure 2. SEM images of pure PS and 40 wt % PS in PS/PVA composites. by FEI - Quanta FEG 250 and HITACHI, respectively.

2.4. Theoretical Considerations

The percolation threshold, p_c for this problem is around 0.6 for so called "site percolation" on a square lattice. An example of percolation is that is the spread of water displacing oil in porous rocks, where neighboring pores are connected by small capillary channels(Sahini & Sahimi, 1994), (Broadbent & Hammersley, 1957).

$$p_\infty(p) \approx (p - p_c)^\beta \quad (\text{for } p > p_c, \text{ and } p \rightarrow p_c) \quad (1)$$

In a simple cubic lattice p_c is found to be 0.31 for site-percolation and 0.249 for bond percolation models(Stauffer, 1985). The exponent β for a simple cubic lattice is 0.45, for percolation model, however, β is almost the same value as 1.0 in classical model(Stauffer, 1985).

The stages of the film formation process were modelled by the void closure and the interdiffusion models detailed information of which can be found in the studies(Ugur et al., 2011; Yargi, Gelir, Ozdogan, Nuhoglu, & Elaissari, 2016) before and after the healing temperature, respectively.

The relation between the transmittance and the temperature during these stages is given by the following equation

$$I(T) = S(t) \exp\left(-\frac{3\Delta H}{kT}\right) \quad (2)$$

where S is a constant and $I=I_{tr}/(I_{tr})_{max}$, ΔH is the energy of void closure of viscous flow. One mole of material for creating the act of a jump during viscous flow and k is the Boltzmann constant. The activation energies can be calculated by using the linear regression analysis as given in our previous study(Ugur et al., 2011).

3. Results and Discussion

The scattered light intensity, I_{sc} versus PS volume denoted by $R(\text{wt/wt})$ is plotted in Fig 3a, where addition of PS into PS/PVA composite lattice drops I_{sc} , especially below 40 wt % PS content (see Fig 3b). This tendency of I_{sc} can be explained by percolating PS latex in PVA matrix(Stauffer & Aharony, 1994). This percolation can be attributed to I_{sc} (Arda, Kara, & Pekcan, 2013). The below equation can be used:

$$R = \frac{M_{PS}}{M_{PS} + M_{PVA}} \quad (15)$$

where M_{PS} and M_{PVA} stands for the weight of PS and PVA in the matrix. If R is attributed to the occupation probability, p , of PS in the PVA lattice, percolation threshold, P_c becomes R_c , and Eq (1) returns to Eq 16.

$$I_{sc}(R) = (R - R_c)^\beta \quad (16)$$

Eq. (16) describes the percolation model for PS distribution in PVA lattice. When R approaches to R_c , the largest cluster of PS spans from one end to the other end of the PVA lattice. In Fig 4, fit of the Logarithmic plot of Eq 16 to the measured points is shown and β , was calculated as 1.01 by the slope of the

straight line the critical exponent, which is quite consistent with the classical model and our previous study(Ugur, Yargi, Gunister, & Pekcan, 2008; Ugur, Yargi, & Pekcan, 2008).

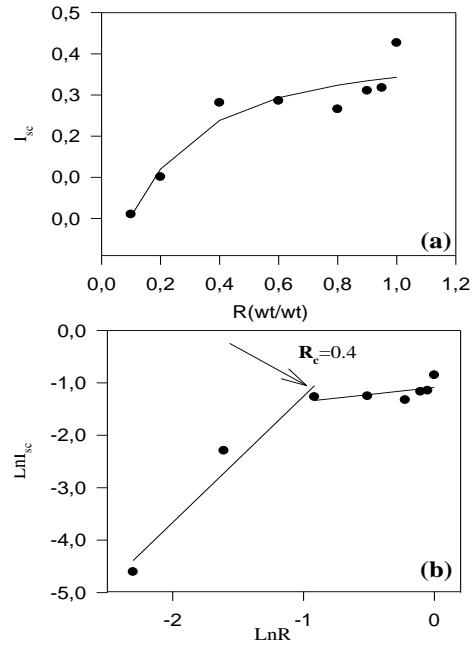


Figure 3. (a)The scattered light intensity, I_{sc} versus PS volume. (b) $\text{Ln}I_{sc}$ versus $\text{Ln}R$ (R is the mass fraction of R)

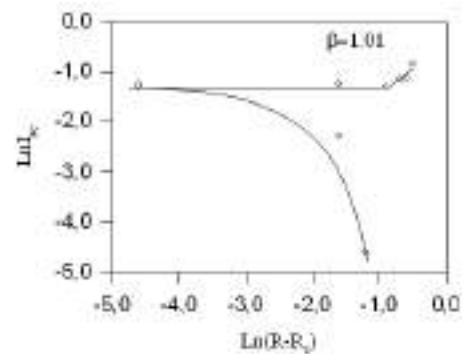


Figure 4. $\text{Ln}I_{sc}$ versus $\text{Ln}(R - R_c)$; β is critical exponent

The composite films with different PS content range in 20-100 wt % were annealed for 10 min at various temperatures. The I_{tr} of the films, versus annealing temperature are seen in Fig. 5. Here, it is seen that I_{tr} first increase and then reaches a saturation level except for the films including 95 and 100 wt % PS. I_{tr} starts to increase at the temperature which is called onset temperature, T_o which moves to the higher temperature with the increasing PS content. In other words, system needs higher temperatures to start film formation processes for higher PS volume. The void closure process is realizing above T_o with the increase of I_{tr} in which the film becomes more homogeneous as a result of decreasing porosity upon closing the voids. This increasing homogeneity of the film increases the transmitted light through the film. After the void closure stage finishes, a new stage which is called as interdiffusion process starts at the healing temperature, T_h , which increase up to a specific PS content and then show almost the same value for the rest of content values where film formation processes can be observed easily.

Observation of interdiffusion process is not possible above the 90 %wt PS content as seen from the Fig 5. In our previous

study, the same behavior was observed with the addition of doping material to PS latex(Ugur, Yargi, Gunister, et al., 2008).

surface than the jump of one mole of polymeric material during the viscous flow.

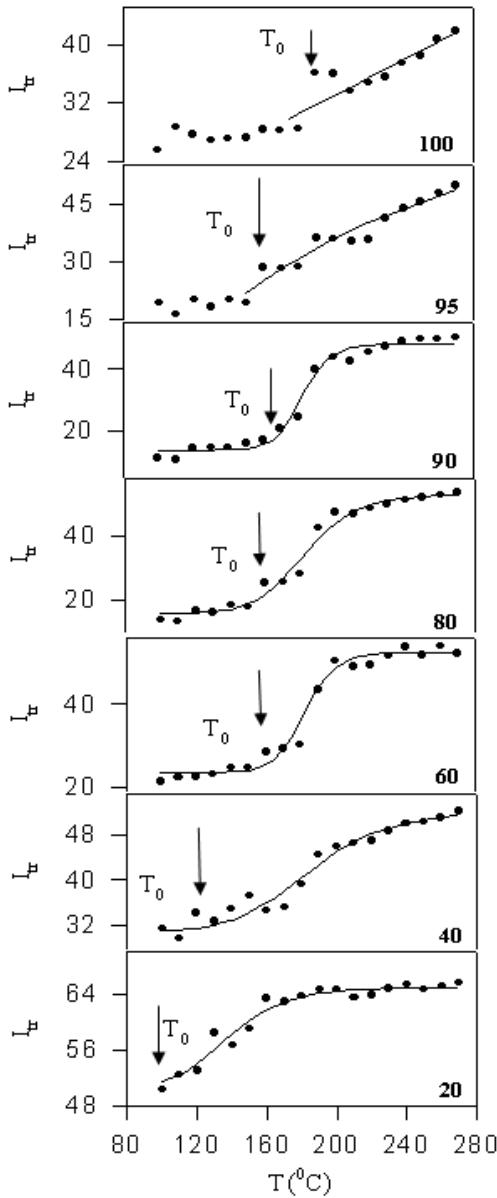


Figure 5. (I_{tr}) change with annealing temperatures depending on. PS volume.

Logarithmic plots of I_{tr} vs. T^{-1} are presented in Fig. 6 for different PS contents. The activation energies, ΔE are calculated by the least squares fitting of the data to Eq. 14 and they were plotted versus PS content in Fig.7. Here, it is seen that while the ΔE values increase depending on the increasing PS content, ΔH values are nearly constant. This indicates that the increasing amount of the doping material in the latex film increases the required energy to accomplish the film formation. There may be one reason for not changing so much of ΔH values that aggregation does not become up to T_h values in the composite films which are almost the same for all samples. In other words, viscous flow does not meet up any different potential barrier to overcome before T_h and causes to be almost the same value of ΔH . It is also seen that the ΔE values are much higher than ΔH , because the PS particles can screen the motion of the polymer chains across the junction. In other words, interdiffusion of polymer chains needs more energy to cross over the junction

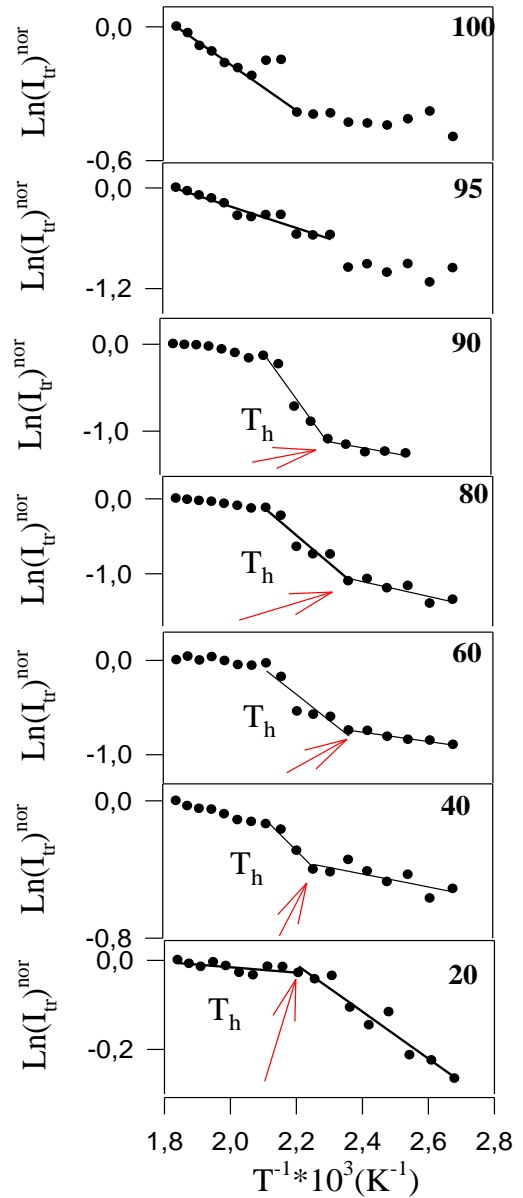


Figure 6. $\text{Ln}I_{tr}$ versus T^{-1} ; for the 20, 40, 60, 80, 90 and 95% PS volume.

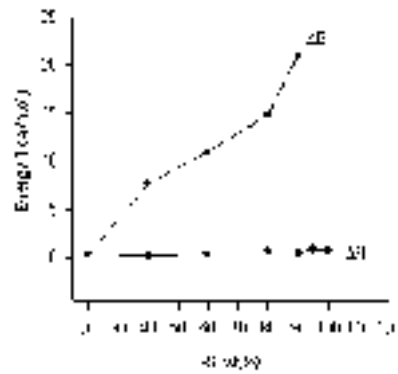


Figure 7. The void closure and interdiffusion energies (ΔH , ΔE) are versus different PS volume.

The behavior of I_{tr} can be explained with our other study (Fig 4)(Yargi et al., 2016) Since there is no mobility between the PS powders up to a certain temperature (T_h), there is no change in light transmittance. However, after the glass transition

temperature, the particles begin to move and the location of the gaps also changes. As the temperature continues to increase, the boundaries of the spheres that begin to fuse begin to disappear and the voids tend to fill. This situation causes the light transmittance to increase up to the fusion temperature. After a certain temperature, the particles cannot move any more either. Because the voids are filled, or because there is a clustering situation depending on the system, it causes the formation of porous structures and a decrease in light transmission. Here, it is not possible to observe the film formation process for composite lattice after the 90 PS wt% value. In other words, for samples with higher PS amount, PT technique is not suitable for to see the detailed I_{tr} change, because the light is blocked by the PS particles and does not allow the transition of itself. In conclusion, it can only be worked below PS 90 wt.%. The morphological changes were found to be consistent with the photon transmission technique results. As seen from Fig. 2a, while pure PS particles has less voids between the spherical particles than the films with 40 wt % PS content as in Fig. 2b. Aggregation which occurs with the addition of PS to the composite films causes the transmitted light intensity to decrease as we have already discussed before.

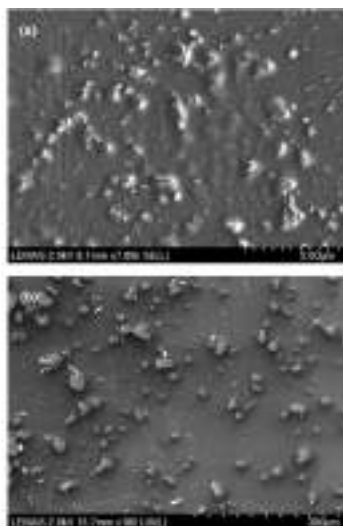


Figure 8. SEM pictures of PVA for the thickness (a) 45 mm, and (b) 170 mm at 90 °C.

4. Conclusions and Recommendations

This work presents a film formation from PS/PVA latexes in terms of mechanical and optical properties. Below 90 wt% PS content, void closure and interdiffusion regions were observed. While, above 90 wt% PS interdiffusion processes was only seen. On the other hand, I_{tr} passing through the films was observed to the PS presence in the composite matrix. Activation energies were also presented. While ΔE increased with PS content, only slightly change was seen in ΔH values depending on doping material.

References

- Arda, E., Kara, S., & Pekcan, O. (2013). *Phase Transitions*, 86(10), 1017-1032. doi:10.1080/01411594.2012.751535
- Broadbent, S. R., & Hammersley, J. M. (1957). *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 53(3), 629-641. doi:10.1017/S0305004100032680
- Chan, K. S., Senin, H. B., & Naimah, I. (2009). *Nanoscience and Nanotechnology*, 1136, 366-369. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000268921300072
- Chan, L. W., Hao, J. S., & Heng, P. W. S. (1999). *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 47(10), 1412-1416. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000083158000011
- Chen, W., Tao, X. M., Xue, P., & Cheng, X. Y. (2005). *Applied Surface Science*, 252(5), 1404-1409. doi:10.1016/j.apsusc.2005.02.138
- Fukumori, T., & Nakaoki, T. (2013). *Open Journal of Organic Polymer Materials*, 03, 110-116. doi:10.4236/ojopm.2013.34018
- Hallensleben, M. L. (2000). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. doi:10.1002/14356007.a21_743
- Jiang, S., Liu, S., & Feng, W. H. (2011). *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 4(7), 1228-1233. doi:10.1016/j.jmbbm.2011.04.005
- Kelly, C. M., DeMerlis, C. C., Schoneker, D. R., & Borzelleca, J. F. (2003). *Food and Chemical Toxicology*, 41(5), 719-727. doi:10.1016/S0278-6915(03)00003-6
- Mackenzie, J. K., & Shuttleworth, R. (1949). *Proceedings of the Physical Society. Section B*, 62(12), 833-852. doi:10.1088/0370-1301/62/12/310
- Paiva, M. C., Zhou, B., Fernando, K. A. S., Lin, Y., Kennedy, J. M., & Sun, Y. P. (2004). *Carbon*, 42(14), 2849-2854. doi:10.1016/j.carbon.2004.06.031
- Pekcan, O. (1997). *Trends in Polymer Science*, 5(6), 177-180. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:A1997XG73500002
- Provder T., W. M. A. a. U. M. W. (1996). (Vol. 648). Washington DC.: American Chemical Society.
- Ray, S. S., & Okamoto, M. (2003). *Progress in Polymer Science*, 28(11), 1539-1641. doi:10.1016/j.progpolymsci.2003.08.002
- Sahini, M., & Sahimi, M. (1994). London: Taylor and Francis.
- Sperry, P. R., Snyder, B. S., Odowd, M. L., & Lesko, P. M. (1994). *Langmuir*, 10(8), 2619-2628. doi:DOI 10.1021/la00020a021
- Stauffer, D. (1985). *Introduction to Percolation Theory*. London: Taylor and Francis.
- Stauffer, D., & Aharony, A. (1994). *Introduction To Percolation Theory*. London: Taylor&Francis.
- Ugur, S., Yargi, O., Durmaz, Y. Y., Karagoz, B., Bicak, N., Yagci, Y., & Pekcan, O. (2011). *Polymer Composites*, 32(6), 869-881. doi:10.1002/pc.21094
- Ugur, S., Yargi, O., Gunister, E., & Pekcan, O. (2008). *Applied Clay Science*, 42(1-2), 39-49. doi:10.1016/j.clay.2008.02.009
- Ugur, S., Yargi, O., & Pekcan, O. (2008). *Polymer Composites*, 29(2), 179-186. doi:10.1002/pc.20378
- Xu, Y. X., Hong, W. J., Bai, H., Li, C., & Shi, G. Q. (2009). *Carbon*, 47(15), 3538-3543. doi:10.1016/j.carbon.2009.08.022
- Yang, D. Z., Li, Y. N., & Nie, J. (2007). *Carbohydrate Polymers*, 69(3), 538-543. doi:10.1016/j.carbpol.2007.01.008
- Yargi, O., Gelir, A., Ozdogan, M., Nuhoglu, C., & Elaissari, A. (2016). *Journal of Applied Polymer Science*, 133(15). doi:10.1002/app.43289
- Yoo, J. N., Sperling, L. H., Glinka, C. J., & Klein, A. (1991). *Macromolecules*, 24(10), 2868-2876. doi:DOI 10.1021/ma00010a036
- Zhang, J., Wang, J. F., Lin, T., Wang, C. H., Ghorbani, K., Fang, J., & Wang, X. G. (2014). *Chemical Engineering Journal*, 237, 462-468. doi:10.1016/j.cej.2013.10.055.



Petrol ve Doğal Gaz Boru Hatları Hot-Tap Uygulamasında İş Güvenliği Esasları ve Risk Yönetimi

Ali Ettehadî^{1*}, Ayşegül Acar², Enes Gürbüz¹

^{1*} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4213-7510, 0000-0001-8918-689X), ali.ettehadi@ikcu.edu.tr, enesgurbuz1510@gmail.com

² İzmir Tüpraş Rafinesi, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4219-7548), aysegul_grbz@hotmail.com

(First received 22 March 2021 and in final form 27 June 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901048)

ATIF/REFERENCE: Ettehadî, A., Acar, A. & Gürbüz, E. (2021). Petrol ve Doğal Gaz Boru Hatları Hot-Tap Uygulamasında İş Güvenliği Esasları ve Risk Yönetimi. *European Journal of Science and Technology*, (25), 272-281.

Öz

Türkiye'nin dünya üzerinde ki stratejik, coğrafi ve jeopolitik konumu Orta Doğu kaynaklarının farklı ülkelere taşınması sırasında doğal bir enerji köprüsü olmasına olanak sağlamıştır. Dünya'da ve ülkemizde enerji ihtiyacını karşılama amaçlı boru hatları ile üreticilerden tüketicilere petrol ve petrol ürünlerinin taşınması sağlanmaktadır. İletimi sağlayan bu boru hatlarının zamanla çevresel faktörlerden veya teknik sorunlardan dolayı onarım yapılması gerekmektedir. Bu gibi durumlarda ürün akışını kesmeden üretici ve tüketicuyu mağdur etmeyecek sağlıklı ve güvenilir yöntemlerden biri olan hot-tap, ülkemizde de sıkça uygulanan bir yöntemdir.

Bu çalışmanın amacı canlı boru hatları üzerinde yapılan hot-tap uygulamalarını iş sağlığı ve güvenliği açısından inceleyerek meydana gelebilecek tehlike ve riskleri analiz edip, bu risklere karşı alınabilecek önlemleri belirlemektir. Çalışmanın ilk bölümü hot-tap ve uygulamaları hakkında kapsamlı bilgiler içermektedir. İkinci bölümde ise canlı hatlarda uygulanacak hot-tap işleminin tehlike ve risklerinin L-Matris Yöntemi ile analizi anlatılmıştır. Tüm bu veriler ve bilgiler ışığında son olarak üçüncü bölümde ise risk analizi sonucu hot-tap uygulaması öncesinde alınması gereken önlemler değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Risk Değerlendirmesi sonucunda canlı boru hatları üzerinde yapılan hot-tap çalışmalarının uygulama öncesi ve uygulama esnasından yapılacak güvenlik önlemlerinin sağlanması ile risklerinin kabul edilebilir seviyeye getirilebildiği belirlenmiştir. Fakat bu kabul edilebilirliğin sürekli değişken koşullar ve üretim sürecinin devamı göz önünde bulundurularak revize edilmesi ve güncelliğinin korunması, operasyonun sağlıklı ve güvenli bir şekilde tamamlanabilmesi için önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Hot-tap, İş güvenliği, L-Matris, Canlı boru hatları, Risk analizi.

Safety Principles and Risk Analysis in Hot-Tap Application through Oil and Gas Pipelines

Abstract

The strategic geographical location of Turkey has provided an opportunity to be a natural energy bridge between producer and consumer countries. Petroleum and natural gas and their products are transported through pipelines to provide energy demand in our country and the world. This mission has vital importance especially in terms of connecting Khazar-Middle east energy resources to Europe. These pipelines that provide energy transmission are required to be revised due to environmental factors and technical problems in the course of time. Hot-tapping or pressure tapping is one of the effective and reliable methods of making a connection to existing piping or pressure vessels during maintenance operation without interrupting the product flow. This method is also commonly used in our country. The purpose of this study is to analyze potential hazards and risks on live pipelines. The special emphasis of this study is given on reporting precautions to be taken while these hazards and risks happen. The first part of this study includes general information about hot-tap and its application. In the second part of the study, possible hazards and risks stemmed from the hot-tap process and its application on live pipelines are analyzed using the L-Matrix method. In the third part, suggested precautions prior to hot-tap application are evaluated based on the collected information.

The results have revealed that safety precautions considered before and during hot-tapping could reduce the possibility of risks to the acceptable level. However, due to continuous variable conditions while the hot-tapping process, continuous revising and updating potential risks are highly important to complete safe and reliable operation.

Keywords: Hot-tap, Occupational Safety, L-Matrix, Pipeline, Risk Analysis.

* Corresponding Author: İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, İzmir, Turkey (ORCID: 0000-0002-4213-7510), ali.ettehadi@ikcu.edu.tr

1. Giriş

Hot-tap yöntemi canlı sistemlerde başka bir deyiş ile içerisinde aktif akışkan akışı olan boru hatlarında yapılan bir bağlantı metodudur. İçinde akışkan bulunan, canlı hatlardan branşman (farklı bir kol) almak yani hattın ana akış bölgesinden başka bir akış yolu daha açmak veya hattı onarmak için yapılan özel delme işlemidir. Hot-tap operasyonu barındırdığı potansiyel tehlikeler sebebi ile işletmenin devamlılığının gerekli olduğu, ilgili işlemin uygulanmadığı ve hot-tap işleminin teknik olarak mümkün ve ekonomik olarak daha avantajlı olduğu durumlarda yapılmaktadır. Yapılan hot-tap operasyonu ekonomik olmalı ve aynı zamanda emniyet ve çevre riskleri, konvansiyonel yöntemlere göre daha az risk oluşturmalıdır. Hot-tap yapılma kararı alındıktan sonra teknik emniyet kuralları, boru ve ekipmanların durumu, bağlantı tipi, standart ve yöntemler, işlem şartları, hot-tap cihazının teknik kapasitesi, kaynak yöntemi, maliyet etkinliği, çevre ve çevre kirliliğine sebep açabilecek aksaklıklar ya da alınacak tedbirler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kontrollerin yapılmasının en önemli nedeni, yapılacak bir aksaklık veya hatada operasyon birçok kişinin yaralanabileceği ve daha kötüsü yaşam kaybı ile sonuçlanabilmektedir. Bunun için hot-tap operasyonu yapılırken iş kanunu mevzuatı esas alınmalıdır. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve kanun uyarınca yayımlanan yönetmelikler ve tebliğlere göre hot-tap uygulamasına katılacak personelin temel ilkyardım uygulamalı eğitimi, iş sağlığı ve güvenliği bilgilendirme eğitimleri, destek elemanı olarak görevlendirilen personelin konu ile ilgili eğitimleri, MYK (Mesleki Yeterlilik Kurumu) tarafından belirlenen ve uluslararası standartlarda belirtilen eğitimlerin alması gereklidir (Gazete, 2013). Hot-tap işlemi farklı birimlerin birlikte çalıştığı ve her birimin kendi sorumluluklarını taşıdığı bir aktivitedir. Dolayısıyla bölümler arası koordinasyon ve operasyonun planlanması hayati önem taşımaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında boru hatlarında risk değerlendirmesi üzerine birçok çalışma yapıldığı görülmüştür. Bir doğal gaz boru hattı inşaatının mesleki risk değerlendirmesi için Pisagor Bulanık VIKOR'a dayalı bir karar destek sistemi ile doğalgaz taşınmasını sağlayan gaz boru hattındaki mesleki risk değerlendirmesi geliştirilen çoklu kriter karar analizi (multi criteria decision analysis) yapılarak değerlendirilmiştir (Mete vd., 2019). Gachsaran da (Iran) petrol arama bölgesinde ki gaz boru hattının sağlık, güvenlik ve çevre riski boru hattı 2 benzer bölüme ayrılarak bir bölümü Kent'in risk metodu ile diğer bölümü ise analog risk metodu ile yorumlanmıştır (Kalatpoor vd., 2010). Saeed Malmasi vd. ise gaz boru hatlarında sağlık, güvenlik ve çevresel risk değerlendirmesini gaz boru hattıyla ilgili coğrafi bilgi sistemini kullanarak gerçekleştirmiştir (Malmasi vd., 2010).

Doğalgaz boru hatlarından sızıntı, ciddi ekonomik kayba neden olmakta, gazın yanıcılığı ve kaçak tespitindeki zorluklar dikkate alındığında sosyal güvenliği önemli ölçüde etkilemektedir. Bir risk matrisini Papyon Modeliyle birleştirilerek kapsamlı bir risk değerlendirme yöntemi önerilmiştir (Lu vd., 2015). Boru hattı ağları genellikle büyük ve karmaşık olduğundan, çok sayıda boru hattını analiz etmek genellikle yoğun ve zaman alıcıdır. Çelik petrol ve gaz boru hatlarının arıza riskini belirlemek için hesaplama açısından yoğun analitik yaklaşımlara uygun bir alternatif geliştirmek için makine öğrenimindeki (machine learning) son gelişmeler kullanılmıştır ve veriye dayalı makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak boru hatlarının arıza riski analizi yapılmıştır (Mazumder vd., 2021).

Akın Avşaroğlu kaynaklı imalat esnasında oluşabilecek riskleri değerlendirdiği bir çalışma yapmıştır. Çalışmalardan bir tanesi Botaş ham petrol boru hatları üzerinde bir diğeri ise Tekfen'in diğer projelerindeki risklerin değerlendirmesidir (Avşaroğlu, 2011). Boru hatlarında daha önce birçok patlama gibi tehlikeli kazalar meydana gelmiştir. Bu nedenle, öğrencilere ve sahada çalışan mühendislere yol göstermesi için boru hatlarında basınçlı tanklar ile boru hatları uygulamaları için boru ve boru hattı değerlendirme kılavuzu oluşturulmuştur (Escoc, 2006). Boru hatlarında risk değerlendirmesi üzerine birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen hiçbir çalışma özel olarak hot-tap uygulamasında iş güvenliği esasları ve risk yönetimini konu olarak incelememiş ve üzerinde çalışmamıştır. Bu makalede özel olarak hot-tap uygulaması ve Hot-tap uygulamasının risk değerlendirmesi ele alınmıştır. Hot-tap malzemeleri, işlem akışkanları, işlem şartları, hot-tap tasarımı, basınç testleri, delme ve tamamlama, risk yönetimi, hot-tap riskleri ve uygulanabilirliği başlıkları altında Hot-tap uygulamalarının içeriği, aşamaları ve uygulama sırasında oluşabilecek aksaklık veya hataların neden dolayı kaynaklanabileceği incelenerek L-Matris ile risk değerlendirmesi yapılmıştır.

1.1. Hot-Tap Malzemeleri

Hot-tap uygulamalarında üç temel donanım bulunmaktadır. Bunlar bağlantılar, vana ve hot-tap makinasıdır. Bağlantılar, Şekil 1'de görüldüğü gibi gövdesinde iki parçalı giriş veya tek parçalı giriş barındıran, kaynaklı imalat ile içerisinde akış olan boru üzerinde kaynak yöntemi ile montaj yapılmasıdır. Bağlantıların yapılmadan önce yapılacağı canlı borunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri bilinmeli ve buna uygun yöntem oluşturulmalıdır. Kaynak yapılacak boru cidar kalınlığı ve boru bağlantıları arasındaki uygunluğunun kontrolü yapılmalıdır.

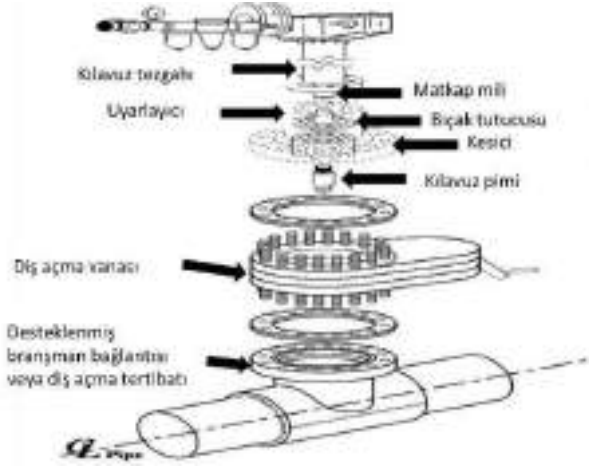


Şekil 1. Çelik doğalgaz hattı branşman bağlantısı için hot-tap bağlantı kaynağı [url-1].

Hot-tap makinası ile ilgili genel ve teknik özellikler operasyon öncesi bilinmeli ve bu konuda yetkinliğe sahip akredite olmuş firma tarafından, özel eğitimlere tabii tutulmuş kişilerce operasyon gerçekleştirilmelidir. Operasyon öncesi tüm kontrollerin yapılması ve donanım yedeklemelerinin tamamlanması gerekmektedir. Hot-tap makinası kullanım yöntemi önceden belirlenen sırada devam etmelidir. Genel itibarı ile belirlenen sıra aşağıdaki gibi ilerlemektedir:

- Ekipman kontrolü ve yedeklenmesi
- Çalışma şartlarının belirlenmesi
- Kaynak
- Branşman deliği açma

Hot-tap makinasının donanımı çok az bakıma ihtiyaç duyan ve bu ihtiyaç periyodik olarak yapılan kontroller ya da çalıştırma öncesi testler ile giderilebilen bir donanımdır. Şekil-2'de hot-tap makinasının oluşturduğu kısımlar ayrıntılı olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. Hot-tap makinası [url-2].

1.3.1 Boru Cidar Azami Sıcaklığı

Bir hot-tap işlemi öncesinde izin verilen voltaj, akım, kaynak hızı aralıkları kaynak yöntemlerinde belirtilmelidir. SMAW (elektrik ark kaynağı) kaynak yöntemi için köşe veya alın kaynaklarında ısı girdisi Denklem-1'de verilen eşitlik ile hesaplanabilmektedir.

$$HI = K \times V \times A/S \quad (D.1)$$

HI: Isı girdisi (Joules/mm)

K: Net faktör

V: Voltaj (Volt)

A: Akım (Amper)

S: Kaynak hızı (mm/s)

1.3.2. İşlem Akışkanının Basıncı

Hot-tap işlemi uygulanacak canlı hatlarda ürün akışı kaynaklı belli bir basınç bulunmaktadır. Bu basınç değeri hiçbir zaman hot-tap donanımının azami çalışma basıncını geçmemelidir. Çalışma öncesi yetkili kişi veya kuruluşlar tarafından kontrolleri yapılarak, canlı hat basıncına uygun hot-tap donanımı seçilmesi sağlanmalıdır. Hot-tap kaynağı sırasında ise boru içi akışkanının basıncı, izin verilen azami çalışma basıncını geçmemelidir. Bunun sağlanması için ürün akışının kesintiye uğramaması gerekmektedir. Eğer basınçlı boru üzerinde kaynak yapılıyor ise ve kaynak sırasında kaynak havuzunun altındaki erimemiş borunun iç basıncını taşıyabilecek kadar güçlü değilse, boruyu yakabilir akabinde borunun delinmesi kaçınılmaz bir hal almaktadır (A. P. Institute, 2003).

1.3.3. İşlem Akışkanının Hızı

Canlı hatta ki akışkanın hızı borunun çapı ile ilişkilidir. Çap daraldığında hız artmaktadır, çap genişlediğinde ise hız azalmaktadır. Çapın daralması sonucunda artan akışkan hızı yerel olarak basınç kaybına başka bir deyişle bölgesel olarak akımsız (downstream) basıncın azalmasına sebep olabilmektedir. Değişim gösteren bu basınç değeri belirli bir sınır değerini aştığında akış rejimi türbülanslı akış haline almaktadır. Türbülanslı akış boru içerisinde kalan tortu, cüruf, kum vb. gibi parçacıkları belirli bir hız ile savurarak borunun iç yüzeyinde ve/veya çıkış yerleri olan vana gibi donanımların ciddi şekilde aşınmasına (erozyon) ve hasar görmesine sebep olacaktır. Yüksek akış hızları, kaynak bölgesinde hızlı soğumaya ve dolayısı ile kırılğan sert yapıların oluşmasına yol açabilmektedir. Kaynak esnasındaki tavsiye edilen azami akış hızı birtakım yöntemler ile belirlenmelidir. Ayrıca kaynak sırasında verilecek olan düzenli molalar ile yüksek ısı girdisinin önüne geçilmesi sağlanmalıdır.

1.3.4. Hot-Tap Yapılması Gereken Yerin Belirlenmesi

Hot-tap bransı, hot-tap yapılacak olan canlı hatta aksel açıdan 90° ile monte edilmelidir. Yatay hatlarda hot-tap için en iyi pozisyon yukarıdan aşağıya dik pozisyonudur (saat 12:00 pozisyonu). Bu pozisyonun dışındaki açılarda sapmalar hot-tap makinesinin desteklenmesini güçleştirir ve nozulun kaynatılıp sabitlenmesini zorlaştırır. Saat 3:00 ve 9:00 pozisyonlarının altındaki hot-tap uygulamaları yani hot-tap makinesi kesme ağzının yukarı baktığı durumlardan kaçınılmalıdır. Bu durumda delme esnasında çıkan talaş, nozulda birikebilir ve izole vanasının

1.2. İşlem Akışkanları

Bir ürünün hammadde olarak işleme girişinden ürün olarak çıkışına kadar geçen sürece işlem süreci denir. Bu süreçte ham petrol ve türevlerinin bulunduğu hatlar işlem akışkanlarını oluşturmaktadır. Örnek verecek olursak bu akışkanlar; mazot, benzin, gazyağı, parafin, katran, sıvılaştırılmış petrol gazı olabilirler. Hot-tap işlemi, işlem emniyeti açısından sadece aşağıdaki durumlarda uygulanmalıdır;

- İşlem akışkanının kaynak ve delme sebebi ile oluşabilecek yüksek sıcaklıklarda sabit kaldığı durumlarda,
- İşlem akışkanının delme esnasında hava ile temas halinde sabit kaldığı durumlarda,
- İşlem akışkanı ve hot-tap cihazı arasında bozulma veya kimyasal reaksiyon beklenmediği durumlarda.

Hot-tap işlemi aşağıdaki durumlarda uygulanmamalıdır;

- Parlayıcı tip gaz veya karışımların kaynak esnasında ısı girdisi sonucunda risk oluşturacak durumlarda,
- Akışkanların reaksiyon ve bozulma sonucu tehlikeli basınç artışlarına, patlamaya ve metale zarar verebilme ihtimali olan durumlarda,
- Boru ve donanım içlerinde ya da atmosferde hidrokarbon ile birlikte oksijence zengin ortamların bulunduğu durumlarda uygulanmamalıdır.

Hot-tap işlemi yapılmadan önce hattaki akışkan hakkında bilgi sahibi olunmalı ve akışkana uygun yöntem oluşturulması gerekmektedir.

1.3. İşlem Şartları

Hot-tap işleminin en önemli ve tehlikeli kısımlarından biri kaynak işleminin yapılmasıdır. Canlı hat üzerinde kaynak yapılmadan kaynak mühendisleri tarafından kaynak yöntemi oluşturulması gerekmektedir. Kaynak sırasında verilen ısı girdisinin yol açtığı mukavemet kaybı oluşmaktadır. Bundan dolayı oluşacak sıcak üfleme veya aşırı ısı girdisi ve hızlı soğuma nedeni ile oluşabilecek mikro yapı bozulmalarını önlemek açısından kaynak sırasında boru et kalınlığı, akışkan basıncı ve hızı dikkatle izlenmelidir.

kapanmasını engelleyebilmektedir. Canlı hat üzerinde hot-tap yapılacak nokta aşağıdaki kısalara göre kontrol edilmeli ve yetkili ekip tarafından uygunluğuna karar verilmelidir;

- Boru et kalınlığı
- İçten veya dıştan olası korozyon
- Boru yüzeyindeki olası deformasyon
- Hat içindeki olası birikintiler
- Yakındaki kaynakların durumu

Hot-tap yerinin belirlenmesi sürecin sağlıklı ilerleyebilmesi, çalışanların ve çevrenin zarar göreceği durumların engellenebilmesi açısından önemlidir. İşinde uzman ekipler tarafından süreç yürütülmeli, mümkün olabilecek tüm risklerin operasyon öncesi bertaraf edilmesi sağlanmalıdır.

1.4. Hot-Tap Tasarımı

Hot-tap tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken aşamalar aşağıda Şema 1 de verilmiştir ve sırasıyla açıklanmıştır.



Şema 1. Hot-Tap tasarım şeması

1.4.1. Tasarım Hesaplamaları

Bütün hot-tap uygulamalarında yapı çizimleri, tasarım hesaplamaları ve malzemelerin uygunluğu önceden belirlenmelidir. Bu uygunluklar doğrultusunda yazılı talimatlar ve iş tarifleri oluşturulması sağlanmalıdır. Örneğin, yüksek sıcaklıklarda çalışan hatlara yapılacak hot-tap için transfer edilen ısıdan kaynaklı sıcaklık yükselmelerindeki gerileme (stres) göz önünde bulundurularak özel yöntemler oluşturulmalıdır. Uygulama öncesi tasarım hesaplamaları asgari olarak aşağıdaki maddeleri içermelidir;

- İşlem veri ve limitleri
- Boru imalat yöntemi, malzemesi, kalınlığı ve kaynağa uygunluğu
- Azami sıcaklık ve basınç
- Hattaki yükler
- Hot-tap noktasının boru üzerindeki konumu, pozisyonu.
- Test basıncı

Tasarım hesaplamalarında dikkat edilen hususlardan biri olan hattaki yükler, hot-tap boyunca boruya etki edecek yüklerin toplamıdır. Bu toplam yüklerin borunun taşıma kapasitesini geçmemesi sağlanmalıdır. Bu sebeple, aşağıdaki belirtilen asıl yükler göz önünde bulundurulmalıdır (B31.3, 2008; A. N. S. Institute, 1999).

1.4.2. Hattaki Akış Sırasında Oluşan Yükler

Akış esnasında hat üzerindeki dirseklerden, vanalardan ve rekorlardan kaynaklanan, ağırlıkların ve ısıl genleşmelerin etkilerini göz önünde bulundurmamak ve değerlendirmek gerekmektedir. Bu kapsamda hattın stres analizi yapılarak varsa yaylı destekler ve sabit destekler incelenmeli ve gerekli önlemler işlem öncesi alınmalıdır.

1.4.3. İç Basınç

Hot-tap operasyonu sırasında brans için hat üzerinde açılan delik, hattın iç basınca dayanma mukavemetini azaltacaktır. Önceden belirlenen yöntemler ile hattaki son dayanım basınçları hesaplanmalı ve yaka sacı ile hatta güçlendirmeye gerek olup olmadığına karar verilmesi sağlanmalıdır.

1.4.4. Hot-Tap Yükü

Hot-tap sırasında izole vanası ve hot-tap makinesi ağırlığı, eğer hatta destek yoksa bu hattı bükmeye çalışabilir ve muhtemelen bransman alınacak noktadan eğecektir. Eğer bransman dikey düzlemde değilse hattın burkulmasına sebep de olabilir. Burkulma ve eğilmenin önüne geçilmesi için imalatçı firma tarafından temin edilen donanım ağırlıkları göz önünde tutulmalıdır.

1.4.5. Hot-Tap Bağlantı Tipleri

Hot-tap operasyonu için uygulanan hattın boyutlarına göre çeşitlilik gösteren üç bağlantı tipi bulunmaktadır. Bu bağlantı tiplerinden hangisinin kullanılacağı hot-tap deneyimi olan yetkin personeller tarafından hot-tap donanım özellikleri göz önünde bulundurularak karar verilmesi sağlanmalıdır.

1.4.5.1. Redüksiyonla Güçlendirilmiş Branşmanlar

Redüksiyon, işlemlerde büyük çaplı borudan küçük çaplı boruya geçişi sağlayan bir çeşit boru bağlantı elemanıdır. Şekil 3’de görüldüğü üzere redüksiyonla güçlendirilmiş branşmanlar aşağıdaki koşulları sağlamaları durumunda kullanılabilirler;

- Borulamalarda kullanılacak branşman boru çapı en fazla 3 inç olmalıdır ve branş boru çapının canlı hattın çapına oranı 1/3 ten küçük veya eşit olmalıdır (A. N. S. Institute, 1986).
- Vibrasyon olması beklenen hatlarda kullanılmamalıdır



Şekil 3. Redüksiyonlu Güçlendirilmiş Branşman [url-3].

1.4.5.2. Tam Kuşatma Sliv (Rekor) İle Güçlendirilmiş Ana Hattta Yapılacak Branşmanlar

Hot-tap operasyonunda canlı hattın 3 inç çapından daha büyük çaplı olduğu borularda güçlendirme plakaları olarak görev yapması amaçlı yaka sacı yerine tam kuşatma rekorları kullanılmalıdır. Şekil 4’de verildiği gibi tam kuşatma rekor ile güçlendirilmiş ana hatta yapılacak branşmanların boru çapı canlı hattın boru çapından en az 1 çap uzunluğu kadar küçük olmalıdır.



Şekil 4. Tam kuşatma sliv (Rekor) ile güçlendirilmiş ana hatta yapılacak branşman [url-4].

1.4.5.3. Ayrık T-Bağlantı (Split Tee) Kullanımı İle Yapılacak Branşmanlar

Ayrık T-bağlantı kullanılarak yapılan branşman Şekil 5’de verildiği gibi uygulanmaktadır. Canlı hatta delinecek olan deliğin, branşmanın iç çapından küçük olacağı unutulmamalıdır. Branş mümkün olduğunca kısa tutularak uygun yöntem ile branşman çeşidine karar verilmesi sağlanmalıdır.



Şekil 5. Ayrık T-bağlantı ile yapılan branşman [url-5].

1.4.6. Kaldırılacak Malzemenin Güçlendirilmesi

Büyük çaplı borularda hot-tap işlemi sırasında özellikle sarmal (spiral) kaynaklı borularda, kupon (canlı hattan kesilen parça) kesildikten sonra elastiklik kazanabilir veya sıkışabilir. Bu dezavantaj, branş bağlantısı ve T-bağlantısı yapılmadan hemen önce, canlı hatta kupon güçlendirme aleti kaynatılarak engellenebilir. Hot-tap yapılması sırasında, kılavuz matkap ucundaki kupon tutucu pim ya da bilyelerin; kesicinin kuponu kestiği anda, kupondan tam olarak geçtiğinden emin olunmalı ve hot-tap öncesi bu pozisyonun kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu da yetkinliği olan ve deneyimli personel tarafından sağlanabilmektedir.

1.5. Basınç Testleri

Hot-tap yapılan hat, devreye alınmadan önce bütün hot-tap nozullarına, rekorlarına, T'lere kaynak işlemi sonrasında basınç testi yapılması gerekmektedir. Testin amacı hot-tap kaynaklarının sızdırmazlık kontrolünün sağlanmasıdır. Ayrıca, bu test hot-tap kaynaklarının test basıncına olan dayanımlarını da verecektir. Bu test basıncı hot-tap uygulaması sırasında hattaki iç basınca ve hattın dış basınca dayanımına bağlıdır. Test sırasında izlenmesi gereken sıra şöyledir;

- Hot-tap vanasının, test öncesi, kesici takımın (cutter) vana içinden geçişini sınırlandırma yapıp yapmadığının kontrolü yapılır.
- Branşa monte edilmeden önce vana test edilir,
- Hot-tap branşmanı sliv ile yapılacak ise slivin alt parçasına dişli test deliği açılır ve test sonrası kapatılır,
- Vana monte edilmiş ve açık pozisyonda iken branş bağlantısı test edilir,
- Vana kapalı konumda iken vana üzerine monte edilmiş olan hot-tap makinasının kaçak testi yapılır.

Basınç testleri yetkinliği olan ve deneyimli personel tarafından yapılmalıdır. Çalışma öncesi iş güvenliği önlemleri alınmalı ve kalibrasyonlu donanım kullanılması sağlanmalıdır.

1.5.1. Test Akışkanı

Hot-tap operasyonunda test akışkanı su olmalıdır. Hava, nitrojen veya diğer gazlar test yöntemine göre belirlenen basınçtan büyük olduğu durumlarda riskler tamamen belirlenmeden ve gerekli önleyici faaliyetler uygulanmadan kullanılmamalıdır.

1.6. Delme Ve Tamamlama

Hot-tap operasyonu son aşaması olan delme işlemi öncesi tüm güvenlik önlemlerinin, yöntemlerin ve talimatların yerine getirilmesi sağlanmalıdır. Yetkin personel tarafından delme işlemi öncesi donanımlar ile ilgili kontroller yapılmalıdır. Hot-tap kesici takımının delme yönü boyunca delmeye başlama ve bitiş pozisyonları tespit edilmeli ve hot-tap makinasının limit ayarları yapılmalıdır. Kesici monte edildikten ve kaçak testi yapıldıktan sonra delme işlemi yapılmalıdır. Eğer kesilen kuponun bir kısmı veya tamamı hattın içine düşerse, hatta bağlı donanımlarda hasar oluşmaması için gerekli önlemler alınmalı, malzeme yedeklemesi işlemi öncesinde mutlaka yapılmalıdır. Kesici de-monte edildikten hemen sonra vana flanşı kapatılmalıdır. Böylece hot-tap operasyonunun tüm aşamaları gerçekleşmiş olmaktadır.

2. Metotlar

2.1. Risk Yönetimi

Ülkemizde çalışan sağlığını korumaya yönelik çalışmaların temeli 1865 yılında Dilaver Paşa Nizamnamesinin yayımlanması ile başlamıştır. Cumhuriyet döneminde ise endüstri sağlığı konusu detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Günümüzde de 4857 sayılı İş Kanunu, Borçlar Kanunu ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile çalışanların sağlığını koruma ile ilgili modern hükümler getirilmiştir (Gazete, 2013). Yapılan çalışmalarda veya iş sağlığı ve güvenliği alanında alınan kural ve kararların temel ve birincil amacı çalışanların sağlığını korumaktır. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, oluşabilecek her türlü aksaklık veya kazalardan çalışanların fiziksel ve ruhsal zarar görmelerini en aza indirmek, mümkünse önlemektir. Bu en aza indirme ve önleme kavramları çalışanları etkileyebilecek tehlike ve risklerin belirlenip kontrol edilmesi ile sağlanmalıdır. Riskin temel anlamı bir olayın, meydana gelme ihtimali ile zarar verme derecesinin bileşkesi olarak tanımlanabilir. Bu riskler birden fazla yöntem ile kontrol edilebilmektedir.

2.2. Risk Yönetimi Ve Risk Analizi

İlk olarak risk yönetimi kavramı kullanılması 1950'lerin başlarına dayanmaktadır (Ekrem, 2014). Zaman içinde gelişerek ve yaygınlaşarak günümüzdeki anlamına ulaşmıştır. İlk başlarda sadece mühendislik alanında kullanılan risk yönetimi günümüzde ise finans, askeriye vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Risk yönetimi amacı belirsizlik ve bunun sonucunda oluşabilecek aksaklıkları en az veya kabul edilebilir bir düzeye indirmek olan bir yaklaşımdır. Risk değerlendirmesi ise yapılacak çalışmanın risk tarafından nasıl etkilenebileceğinin matematiksel olarak hesaplanarak gerekli müdahalelerin ne olduğu ve ne kadar uygulanması gerektiğinin belirlendiği risk yönetim sürecidir (Institution, 1996; ISO, n.d.). Bir organizasyon veya işletmenin barındırdığı riskleri personel

riski, teknolojik riskler, organizasyon riski, dış riskler ve çevresel etki riskleri olmak üzere 5 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Enstitüsü, 2008).

2.3. L-Matris Yöntemi

Risk analiz sürecinin matematiksel olarak hesaplanıp desteklendiği ve yorumlandığı kısma risk değerlendirme yöntemi denilmektedir. Dünyada ve ülkemizde çok sayıda risk değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi burada da kullanılmış olan L-Matris yöntemidir. L-Matris yöntemi önlemlerin olabildiğince çabuk ve en erken bir şekilde alınması gereken durum veya olaylarda yapılan risk tespitleri için kullanılmaktadır.

2.3.1. Olasılık

Olasılık, bir olayın belirli bir zaman dilimi içerisinde meydana gelme ihtimalidir. Olasılığı belirlemek için geçmişte yaşanan olayın tekrar yaşanması, farklı tekniklerden yararlanılarak yapılan olasılık tahminleri ve sistematik veya yapısal süreçte gözlem yapılması gibi 3 ana yaklaşım ayrı ayrı veya birlikte uygulanabilmektedir. Olasılık değerleri; hemen hemen hiç (1), çok az/ yılda 1 kez (2), orta/yılda birkaç kez (3), yüksek/ayda bir (4), çok yüksek/haftada bir veya her gün (5) gibi derecelendirilmektedir [url-6].

2.3.2. Şiddet (Etki)

Herhangi bir tehlikenin oluşumunda faaliyetler üzerindeki etkisi ve birime vereceği zarar şiddet olarak değerlendirilmektedir. Bu şiddet değerlendirmesi iş saati kaybı yok ise çok hafif (1); iş günü kaybı yok ise, hafif (2); hafif yaralanma var ise, orta (3); ciddi yaralanma var ise, ciddi (4); ölüm vakası var ise, çok ciddi (5) olarak değerlendirilmektedir [url-6]. Riskin oluşma ihtimali veya oluşuktan sonraki etkisini analiz etmek için risk matrisi kullanılmaktadır. Belirlenen risklerin her birine 1'den 5'e kadar bir şiddet değeri (soldan sağa) ve bir olasılık değeri (yukarıdan aşağıya) verilmektedir. Etki ve olasılık düzeyi en düşük için 1, en yüksek için 5 değeri kullanılmaktadır. Denklem 2'de verildiği gibi sırası ile olasılık değerleri, etki değeri ile çarpılarak her bir olayın risk puanı veya risk skoru bulunmaktadır.

$$Risk = Olasılık(İhtimal) \times Şiddet \quad (D.2)$$

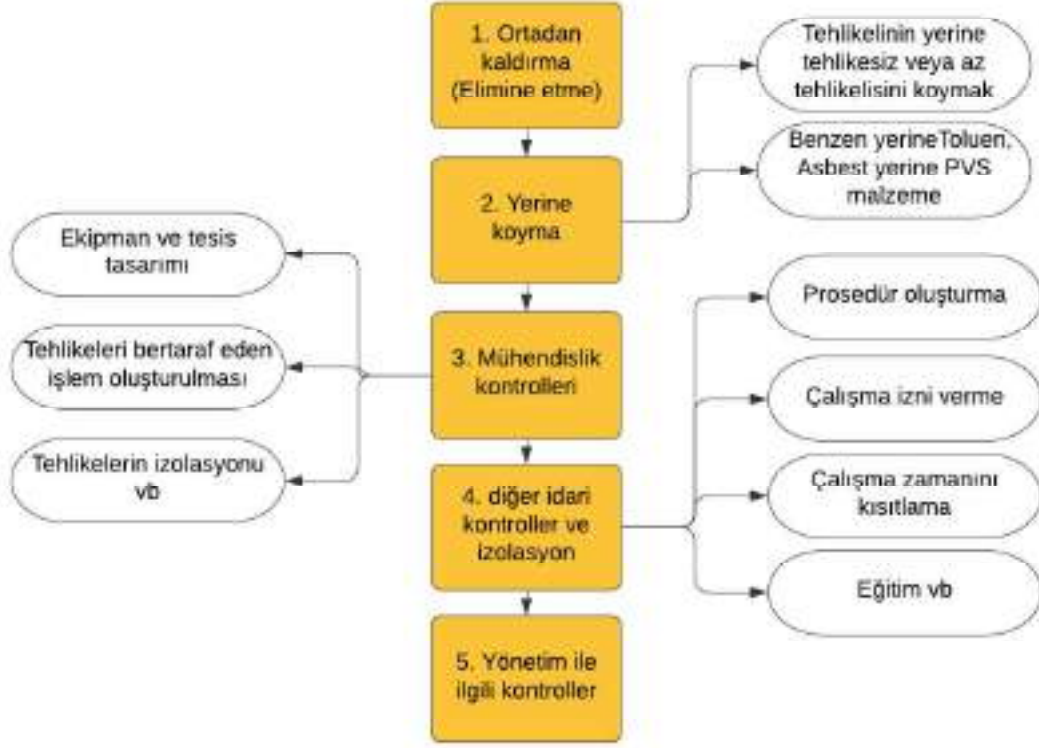
2.4. Risk Müdahalesi

Hot-tap operasyonu gerek yapıldığı konum, gerek yapılış şekli nedeniyle ağır ve tehlikeli işler yönetmeliğine göre çok tehlikeli olarak ifade edilen işler kategorisinde yer almaktadır. Bu durum hot-tap sürecinde çalışacak personelin yetkinliğinden başlamak üzere çevre koşullarını dahi içine alan bir ön çalışmanın yapılmasını gerektirdiği anlamına gelmektedir. Ön çalışma ile olası tüm durumların değerlendirilmesi ve olası risklere karşı uygun müdahale yöntemlerinin belirlenmesi ve basamaklar halinde uygulanması sağlanmalıdır.

2.4.1. Planlama

Risk değerlendirmesi yapıldıktan sonra alınması gereken önlemler veya yapılması gereken kontroller ya da mevcut kontroller üzerinde yapılacak değişiklikler planlanırken

risklerin azaltılması belli bir sıralamaya göre yapılmalıdır. Bu sıralama Şema 2’de verilmiştir.



Şema 2. Risk müdahalesi planlaması

2.4.2. Belgelendirme (Dokümantasyon)

Bir önceki aşamada yapılan planlamadan sonra alınması gereken önlemler veya mevcut sistemde yapılacak değişiklikler bu aşamada belgelendirilmelidir. Riskler, herkes tarafından anlaşılabilir terimlerle açıklanmalı ve risk düzeyinin açıklandığı bölümler net olmalıdır. Raporun uzunluğu, değerlendirmenin amaç ve içeriğinin dışında olmamalıdır. Genel bir risk değerlendirme raporunda hedefler ve kapsam, sistemin ilgili parçaları ve bunların fonksiyonlarına ilişkin tanımlamalar, değerlendirme esnasında kullanılan yöntemler ve değerlendirme sonuçları gibi unsurlar bulunmalıdır.

2.4.3. İzleme Ve Gözden Geçirme (Güncelleme)

Planlama aşamasında alınan önlemler veya mevcut sistemde yapılacak değişiklikler belgelendirildikten sonra belirli zaman aralıklarıyla takip edilip, faaliyetin kullanım zamanı boyunca sürdürülebilecek bir şekilde güncellenmelidir. Risk değerlendirmesinin tehlike sınıfına göre değerlendirmek gerekirse çok tehlikeli, tehlikeli ve az tehlikeli iş yerlerinde sırası ile en geç iki, dört ve altı yılda bir yenilenmesi gerektiği İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, Madde 10’da açık bir şekilde belirtilmektedir.

3. Hot-Tap Riskleri ve Uygulanabilirliği

Daha önce yapılmış araştırmalar sonucunda elde edilen verilere göre kazaların % 88’inin yapılan iş esnasında işçilerin güvensiz hareketler ile çalışması başka bir deyiş ile dikkatsizlik, kızgınlık veya dalgınlık gibi tutumlarından, % 10’unun yanlış çalışma yöntemi, bozuk aletler kullanımı gibi güvensiz şartlar eşliğinde çalışmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. İstatistikler incelendiğinde ise kazaların % 50’sinin kolayca önlenebileceğini, % 48’inin ancak etüt ve metodlu bir çalışma ile önlenebileceğini, % 2’sinin ise önlenmesinin mümkün olamayacağını göstermektedir (Algün, 2014). Hot-tap işleminin önemli bir bölümünü oluşturan kaynak işlerinde, yaşanan kazaların birçoğunun kaynaklı imalat, bakım onarım esnasında yapılan kaynak çalışmaları ve kaynak işini kapsayan diğer uygulamalar sırasında olduğu bilinmektedir. 2008-2012 yılları arasında yaşanmış olan iş kazaları ve bunların ne kadarının kaynak yaparken meydana geldiği incelenmiştir. Örneğin, 2008 yılında yaşanan iş kazası sayısı 72.963, kaynak yaparken meydana gelen iş kazaları sayısı 283; 2012 yılında ise bu sayılar 74.871 ile 249 olarak raporlanmıştır (Turan, 2015). Fakat bu sayılar gerçeği tam olarak yansıtmamaktadır. Bunun sebebi ise kayıt dışı çalışma yani sigortasız çalışma ve kayıtlara iş kazası olarak geçilmemesidir. Tahmin edildiği üzere, hot-tap sadece kaynak işlerinden kaynaklanan riskleri barındırmamaktadır. Çalışanların sahaya girmesinden itibaren başlayan ve çalışma boyunca devam eden, hatta meslek hastalığı olarak tanımlayabileceğimiz ve yıllar sonra

görülebilen riskler barındırmaktadır. Ek-1'de verilen risk analizinde L-Matris yöntemi kullanılarak hot-tap uygulaması yapım aşamalarına göre tehlike ve riskler belirlenmiş, alınması gerekli olan önlemler açıklanmıştır. Hot-tap işine karar verilmeden önce, başlayan risklerin değerlendirilmesi süreci, işe uygun yöntemlerin oluşturulması, risklerin kabul edilebilir seviyelere indirilmesi ve devamlılığın sağlanması ile yapılması gerekmektedir. Süreçte çalışacak personelin yeterli yetkinliğe sahip olması sağlanmalıdır. Hot-tap operasyon risklerini aşağıda açıkladığı gibi 5 ana başlıkta incelenmektedir.

3.1. Personel Riski

Tüm saha çalışmalarında personel riski, güvensiz ve tehlikeli hareketlerden kaynaklı iş kazalarına sebep olabilmektedir. İstatistiklerden de bilindiği üzere iş kazalarının % 88'i tehlikeli hareketlerden kaynaklanmaktadır (Algün, 2014). Personel riskinin en önemli sebepleri arasında deneyimli personelin kendine aşırı güvenmesi, işlerin yetiştirilmesi amacıyla hızlı ve telaşlı çalışma, ucuz maliyet sağlamak amaçlı deneyimsiz ve eğitimsiz personel çalıştırma, personelin iş ile ilgili kaygıları, talimatlara uymama gibi örnekler verilebilmektedir. Sadece belirli alanda tecrübeli uzman kişilerin çalıştırmanın yanında, operasyonda çalışacak tüm personele çalışma öncesi işlemin tüm adımları ile ilgili, çalışma yapılacak saha, operasyon sırasında acil durumların neler olabileceği ve acil durumda yapılması gerekenler, operasyonun tehlike ve riskleri ile ilgili ayrıntılı bilgilendirme yapılması sağlanmalıdır. Gerekli durumlarda tatbikatlar yapılarak uygulamalı olarak çalışanların eğitimleri verilmelidir. Hot-tap operasyonları gibi ekip çalışmaları gerektiren çalışmalarda canlı boru, işletme şartları, çevre şartları ve uygulamalarında yapılacak her türlü işlem bilgisi, deneyimli ve sertifikalı personel tarafından yapılmalıdır. Bu koşul sağlanmaz ise risk kaçınılmaz bir hal almaktadır. Personel riskleri genel, teknik ve sağlık konuları olmak üzere 3 farklı başlık altında sınıflandırılmaktadır.

3.2. Teknolojik Riskler

Gelişen teknolojiyi kullanmak her ne kadar çok faydalı olsa da gerekli eğitim ve seminerler verilmediği takdirde teknoloji ve beraberinde gelişen teknolojik aletler risk oluşturabilmektedir. Bu nedenle gelişen teknoloji takip edilmelidir. Gerekli teknolojilerin tedarik edilmesi süreçleri uluslararası teknoloji transferi süreci olarak tanımlanmaktadır. Transfer edilen teknolojinin, temin edilen firma tarafından eğitimi sağlanmalı ve yetkili ekip eşliğinde deneme ve pratik uygulaması yapılmalıdır. Personel, donanıma hâkim olması gerektiği gibi olağan dışı durumlarda, donanımın faaliyet kapasitesini ve acil durum anında ne gibi müdahalelerde bulunacaklarından emin olmaları gerekmektedir.

3.3. Organizasyon Riski

Hot-tap operasyonu çalışacak ekiplerin önceden yöntemlerin, çalışma koşullarının, iş güvenliği ile önlemlerin alındığı sistemli bir çalışmadır. Uzman ve yetkili mühendisler tarafından operasyon öncesi durum inceleme, analiz ve değerlendirilmesi yapıp planlı ve programlı bir biçimde yapılmalıdır. Hot-tap operasyonları için boru çapı, boru kalınlığı, laminasyon (bünyesinde cüruf bulduran boru) durumu, hava sıcaklığı, günlük sıcaklık değişimleri gibi fiziksel ve çevresel faktörler tespit edilip kayıt altına alınmalıdır.

Operasyona başlamadan önce riski en az seviyeye indirmek için planlı bir şekilde organizasyon yapılması gerekmektedir. Bu organizasyonda iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili olarak önceden belirlenmesi ve alınması gereken önlemlerde başlıklar halinde aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- Acil Durum Ekipmanlarının hazır bulundurulması ve acil durum toplanma yerlerinin belirlenmesi, gerekli görülürse tatbikat yapılması,
- Ekipler arası iletişimi sağlayacak ve acil durum iletişim sağlanabilmesi,
- Nomeks özellikli alev yürütür kıyafetler ve kaynak çadırları kullanılması,
- İşe ve kişiye uygun KKD (Kişisel Koruyucu Donanım) kullanılması,
- Operasyona uygun donanım kullanılması,
- İşe uygun çalışma izinlerinin alınması.

Organizasyon ile ilgili eksikliklerin çalışma öncesi belirlenmesi ve uygun yöntemlerin oluşturulması ve uygulanması hayati önem arz etmektedir.

3.4. Dış Riskler

Çalışma alanında işin yürütüldüğü sırada sadece işin koşullarından kaynaklanan tehlike ve riskler mevcut değildir. Çalışma alanının coğrafi ve jeopolitik konumundan mevcut hava koşullarına kadar çalışmayı ve çalışanları etkileyebilecek riskler mevcuttur. Dış risklere karşı operasyon öncesi ön etütlerin yapılması ve uzman bir ekip tarafından olası tehlike ve riskler belirlenmesi gerekmektedir. Bu risklerin kabul edilebilir veya tehlike ile işletilebilirliği göz önünde tutularak gerekli önlemlerin alınması sağlanmalıdır. Tehlike ve risklere uygun senaryolar oluşturulmalı operasyon öncesi tatbikatlar düzenlenerek şiddetin seviyesini azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Hot-tap operasyonu derinlik seviyesi değişik kotlarda yapılacağı gibi rafineri sahası içerisinde veya yerleşim yerlerine yakın hatlarda da yapılabilmektedir. İşler ters gittiğinde çevredeki faktörlerin reaksiyonları, etkilenebilecek donanım ve kişilerin ayrıca operasyonun doğaya verebileceği zararlar ayrıntılı olarak hesaplanmalıdır. Hot-tap operasyonunun en önemli kriteri de operasyon yapılacak hattın içindeki ürün akışının devamlılığıdır. Bu nedenle hattın kesilmemesi, yavaşlatılmaması veya hızının arttırılmaması sağlanmalıdır. Bunun içinde operasyonda görevli olmasa dahi diğer çalışanlar bilgilendirilmeli ve uyarı levhaları ile farkındalık sağlanmalıdır.

4. Hot-Tap Risk Değerlendirmesi

Risk değerlendirme, tüm şirketlerde ve bu şirketlerin her bir operasyonu için kuruluşundan itibaren başlamak üzere yapılmak zorundadır. Bu risk değerlendirme sürecinde tehlikelerin tanımlanması, risklerin belirlenmesi ve analiz edilmesi, yapılması gerekli olan güncellemeler gibi işlemler hassasiyet ile gerçekleştirilmelidir. Hot-tap operasyonu da canlı hat üzerinde kaynak yapılması ve hattın delinmesi gibi yüksek risk ve tehlikeler içeren bir operasyondur. Ek-1'de rafineri ortamında yapılan ve içinde makine yağlarının bulunduğu canlı hat üzerinde yapılan hot-tap çalışmasına ait risk değerlendirme verilmiştir. Yapılan ve Ek-1'de verilen risk analizi, riskin hangi faaliyet alanında olduğunu, hangi

tehlikeleri arz ettiğini, riskin neler olduğunu, olasılığını, şiddetini, risk değerlendirme skorunu, alınması gereken önlemleri ve sorumlu kurum ve kişileri açık bir şekilde açıklamaktadır. Risk değerlendirme skoru (RDS) kısmındaki farklı renkler ise risk değerlendirme skorunun büyüklüğünü ve olası kazaların ciddiyetini belirtmektedir. Risk değerlendirme skoru arttıkça meydana gelebilecek olayın veya kazanın yaratacağı hasar da aynı oranda atmaktadır. Ek-1 tablosundaki risk değerlendirme skoru daha öncede DK 2 de belirttiği üzere olasılık ile şiddetin çarpımının sonucudur. Ve bu sonuçlar görsel olarak algıyı kolaylaştırmak adına renkler ile gösterilmiştir.

- 1, 2, 3, 4, 5, 6 sayıları yeşil renk ile gösterilmiştir ve risk değerlendirmesi düşük risk olarak yorumlanmaktadır.
- 8, 9, 10, 12 sayıları sarı renk ile gösterilmiştir ve risk değerlendirme skoru orta riskler olarak yorumlanmaktadır.
- 15, 16 sayıları kırmızı renk ile gösterilmiştir ve risk değerlendirme skoru yüksek risk olarak yorumlanmaktadır.
- Son olarak 20, 25 sayıları da kırmızı renk ile gösterilmektedir ve risk değerlendirme skoru çok yüksek risk olarak yorumlanmaktadır. Ancak bu çalışmada çok yüksek risk değerlendirme skoru bulunmamaktadır.

Risk analizinin sonuçları incelendiğinde en fazla risk değerlendirme skoruna sahip olan faaliyetlerin kaynak işleri ve yapı alanı/ zeminler olduğu elde edilmektedir. Bunlara örnek olarakta kaynak işleri için;

- Yanıcı malzemenin olduğu alanda çalışmama, Su sisi, alev yürütür kaynak çadırı, yangın söndürme ekipmanlarının kullanımının sağlanması,
- Yanıcı maddelerin uzaklaştırılmasının sağlanması,

oluşacak riskler için alınması gereken önlemler olarak verilmektedir.

Risk analizinin sonuçları yetkili mühendisler tarafından incelendiğinde ve mühendislik öngörüsü altında yorumlandığında risk analizi yapılan şirketin iş kazalarını ve tehlikeli durumlarını ortadan kaldırılabilmektedir. Buda şirket veya kuruma birçok açıdan olumlu bir yön kazandırmaktadır, en önemlisi sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamaktadır.

Unutulmamalıdır ki tehlikeler ve riskleri operasyonun gerçekleştirildiği koşullara, çevreye, çalışan insanların kişisel kusurlarına ve bu risklere maruz kalanların etkilenme süre ve şekillerine göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu sebeple çalışan kişilerin risk değerlendirmesi yapılırken aynı zamanda çalışanların görüşlerinin alınması gerekmektedir. Böylelikle daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilmektedir.

5. Sonuçlar

Hot-tap uygulaması birçok saha uygulaması gibi riskleri fazla olan bir uygulama olduğundan dolayı boru hatlarının analiz ve değerlendirmesi yapılabilmeyecek şekilde ve

projeleri oluşturulurken iş adımlarının yöntemlerinin oluşturulması sağlanmalıdır. Hot-tap uygulamalarına işletme emniyet uzmanları, yetkili mühendislerin, destek elemanlarının ve gerekli durumlarda acil durum araçlarının (arazöz, itfaiye aracı, ambulans) intikal ettirilmesi gerektiğinden dolayı bu tür hazırlıkların uygulama öncesi tamamlanması veya tedariki sağlanmalıdır. Kullanılacak tüm ekipmanların kalibre edilmesi, periyodik kontrollerinin yapılması, uygulama öncesi kontrollerinin yapılması ve tedarikçi firma tarafından yedek ekipmanlarının uygulama öncesi tedarik edilmesi tamamlanmış olmalıdır. Hot-tap makinasının teknolojik gelişmelere göre güncellemelerinin yapılması ve bu doğrultuda donanımı kullanacak personellerin eğitimi yetkililer tarafından verilerek, başarılı bir şekilde eğitimi sonlandırılmalıdır. Kullanılan elektrikli donanımların kaçak akım rölelerinin, makine koruyucularının ve topraklamalarının olmasına özen gösterilmeli ve yetkili elektrikçi dışında müdahale edilmesi engellenmelidir. Personellerin sahaya götürülmesinden başlayan, gerekli testlerin yapılmasına ve hattın devreye alınmasına kadar olan süreçte bulunan çalışanların eğitimi ve deneyim sahibi bireyler olmasına dikkat edilmelidir. Hot-tap uygulamasında olası gaz maruz kalmaları önlemek ve şiddetini azaltmak amacıyla uygulama süresinde gaz detektörlerinin ve acil durum kaçış maskelerinin personellerde bulundurulması gerekmektedir. Çalışmaya başlamadan önce işe uygun özellik ve standartlarda KKD'lerin çalışanlara yeterli sayıda verilmeli ayrıca kullanımları ile gerekli bilgilendirme yapılmalıdır (Kaymaz, 2014). Ek-1'de verilen risk değerlendirmesi göz önünde tutularak hot-tap operasyonu oluşabilecek tehlike kriterleri sınır değerlere indirgenebilmektedir. Uygun işletme ve çevre şartlarının sağlanması, ön etütlerin yetkili ve yetkin ekiplerce yapılarak tehlike ve risklerin belirlenmesi, deneyimli ve yetkinliğe sahip personel ile çalışılması, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yönetmeliklerin gereğinin yerine getirilmesi ile hot-tap operasyonları sorunsuz bir şekilde yapılabilmektedir. Önemli olan hot-tap sürecinde alınan önlemlerin devamlılığının sağlanması ve koşullara göre risk analizinin güncellenmesi ve sürece uyum sağlamasıdır. Yapılmış olan bu çalışmada en fazla risk işgal eden durumlar yapı alanı ve kaynak işleri faaliyeti olarak 15 derece ile Ek-1 de ifade edilmektedir

References

- Algün, A. (2014). İş Sağlığı ve Güvenliğinin Genel Prensipleri. *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, 3, 3.
- Avşaroğlu, A. (2011). *Boru hatlarındaki kaynaklı imalat çalışmalarında iş güvenliği risk analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- B31.3, A. (2008). ASME B31. 3. *Chap. IV, The American Society of Mechanical Engineers, USA*, 83–84.
- Ekrem, Ç. (2014). Atölye Tipi Üretim Yapan Sanayi İşletmelerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği. *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Araştırma Merkezi, Ankara*.
- Enstitüsü, T. S. (2008). *TS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri*. Ankara.
- Escoe, K. (2006). *Piping and pipelines assessment guide* (Vol. 1). Elsevier.
- Gazete, R. (2013). Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik. *Başbakanlık Basımevi*, 28648.
- Institute, A. N. S. (1986). *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. The Society.

- Institute, A. N. S. (1999). *Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids*. American Society of Mechanical Engineers.
- Institute, A. P. (2003). *Safe Hot Tapping Practices in the Petroleum and Petrochemical Industries*. American Petroleum Institute.
- Institution, B. S. (1996). *British Standard BS 8800: 1996: Guide to Occupational Health and Safety Management Systems*. BSI.
- ISO, B. (n.d.). 14121-1: 2007 Safety of machinery. *Risk Assessment. Principles*.
- Kalatpoor, O., Goshtasp, K., & Khavaji, S. (2010). Health, safety and environmental risk of a gas pipeline in an oil exploring area of Gachsaran. *Industrial Health*, 1012100041.
- Kaymaz, O. (2014). *Kaynak İşlerinde İş Kazası Ve İşe Bağlı Sağlık Problemlerine Neden Olan Faktörler Ve KKD Kullanımının Bu Faktörlere Etkileri Üzerine Çevresel Ve Teknik Araştırma*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.
- Lu, L., Liang, W., Zhang, L., Zhang, H., Lu, Z., & Shan, J. (2015). A comprehensive risk evaluation method for natural gas pipelines by combining a risk matrix with a bow-tie model. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 25, 124–133.
- Malmasi, S., Fam, I. M., & Mohebbi, N. (2010). *Health, safety and environment risk assessment in gas pipelines*.
- Mazumder, R. K., Salman, A. M., & Li, Y. (2021). Failure risk analysis of pipelines using data-driven machine learning algorithms. *Structural Safety*, 89, 102047.
- Mete, S., Serin, F., Oz, N. E., & Gul, M. (2019). A decision-support system based on Pythagorean fuzzy VIKOR for occupational risk assessment of a natural gas pipeline construction. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 71, 102979.
- Turan, A. (2015). Kaynak İşlerinde İş Güvenliği. *Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*.
url-1:http://me-yap.tr.gg/Hot_Tap-Resim-Galerisi-.-.htm, 12/06/2017
url-2:http://www.carmagen.com/news/engineering_articles, 12/06/2017
url-3: <http://www.tega.com.tr>, 12/06/2017
url-4: <http://www.br-industrial.co.uk>, 12/06/2017
url-5:<http://www.tega.com.tr/ef-servis-te-montaj-talimatlari/?lang=tr>, 12/06/2017
url-6: <http://app.csgb.gov.tr/isggm/oshaturkey>, 12/06/2017

Tablo Ek-1: Hot-tap risk analizi.

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
1	Eğitim	Destek elemanı olmaması	Acil durum sırasında personelin bilgisizlik sonucu müdahale edememesi, yaralanma, ölüm	2	3	6	<p>Çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde 30 çalışana, tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde 40 çalışana ve az tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde 50 çalışana kadar;</p> <ul style="list-style-type: none"> Arama, Kurtarma ve tahliye, Yangınla mücadele, <p>Konularının her biri için uygun donanımın sahip ve özel eğitilmiş en az birer çalışmanı destek elemanı olarak görevlendirmelidir. Personel sayısına bağlı olarak destek elemanı sayısı da artırılmalıdır.</p>	İşveren
2	Eğitim	Çalışanların ehli olmaması	Ciddi yaralanma, ölüm	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> Yapı alanı içerisindeki çalışanlar MYK dan onaylı mesleki eğitimleri olmalıdır. Mesleki eğitimi olmayan çalışan yapı alanı içerisinde çalıştırılmamalıdır. 	İşveren
3	Eğitim	İş sağlığı ve güvenliği temel eğitimi verilmemesi	Bilinçsiz çalışma sonucu yaralanma, kaza	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> Kişisel koruyucuların kullanımı, çalışanların yasal hak ve sorumlulukları, işyerindeki tehlike unsurlarının tanımlanması, güvenlik ve sağlık işaretleri <p>gibi iş sağlığı ve güvenliği tehdit edecek konularda,</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. eğitim verilmeli, 2. eğitimle ilgili belgeler kayıt altına alınarak muhafaza edilmeli ve 3. AZ TEHLİKELİ 3 YILDA(8 saat) , TEHLİKELİDE 2 YILDA (12 saat), ÇOK TEHLİKELİDE 1 YILDA(16 saat) bir tekrar eğitimi verilmesi sağlanmalıdır 	İşveren, İSG Uzmanı, İşyeri Hekimi
4	Eğitim	Çalışanların, yaptıkları iş konusunda eğitilmemiş ve yönlendirilmemiş olması	Yaptığı iş konusunda yeterli bilgiye sahip olmayan personelin bilinçsiz hareketleri sonucu iş kazaları	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> Personele yaptıkları iş konusunda gerekli bilgi verilmeli ve yönlendirilmelidir. Çalışma öncesi toolbox ve işbaşı toplantıları düzenlenmelidir. Sürekli denetime tabi tutulmalıdır. 	İşveren
5	Acil Durumlar, Planlama	Acil Durum Toplanma Alanı bulunmaması	Acil durumlara müdahale güçlüğü	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> Acil durumlara karşı şantiye genelince fosforlu acil çıkış levhaları yerleştirilerek olası bir olayda ivedi olarak tahliyenin yapılması planlanmalıdır. Periyodik olarak tatbikatlar düzenlenmelidir. Acil durum aydınlatmalarının elektrik kesintisine karşı 90 dk kesilmeyi engelleyici jeneratöre bağlanması sağlanmalıdır. 	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
6	Acil Durumlar, Planlama	Yangına hızlı müdahale edilememesi	Yangın	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> Çalışma alanında yeterli miktarda yangın söndürme tüpü bulundurulması, Yangın hortumu ile su sist uygulaması yapılmalıdır. Rögar kapakları yangın battaniyesi ile kapatılmalıdır. Alev yürütür kaynak çadırı ve brandalar kullanımı sağlanmalıdır. 	İşveren
7	Acil Durumlar, Planlama	Acil durum planının / Acil durum kat planlarının olmaması	Acil durumlarda (yangın, doğal afet vb.) yaralanma, ölüm, maddi kayıplar.	2	3	6	<ol style="list-style-type: none"> İşveren tarafından; acil durumların olumsuz etkilerinden korunmak üzere gerekli ölçüm ve değerlendirmeler yapılmalı, acil durum planları hazırlanmalıdır. İşveren; işyerlerinde tehlike sınıflarını tespit eden Tebliğde belirlenmiş olan çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde 30 çalışana, tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde 40 çalışana ve az tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde 50 çalışana kadar; <ul style="list-style-type: none"> Arama, kurtarma ve tahliye, Yangınla mücadele konularının her biri için uygun donanıma sahip ve özel eğitilmiş en az birer çalışanı destek elemanı olarak görevlendirilmelidir. 	İşveren
8	Acil Durumlar, Planlama	Acil durum tatbikatı yapılmaması	Acil durumlarda (yangın, doğal afet vb.) yaralanma, ölüm, maddi kayıplar.	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> İşverenin; acil durumlara müdahale için gerekli eğitim ve tatbikatları yaptırması ve ekiplerin her zaman hazır bulunmalarını sağlaması gereklidir. İşyerlerinde yılda bir alarm ve tahliye denemeleri yapılmalı, bu denemeler, yetkili ve tecrübeli bir şef, işyeri bekçileri ve yeteri kadar yardımcılarından kurulu bir ekibin gözetimi altında yapılarak ve işyeri yangın planına uygun olarak tertiplenmelidir. 	İşveren
9	Acil Durumlar	Acil çıkış kapı ve yollarının yönlendirme ve işaretlemelerinin olmaması	Acil durumlarda personel veya müşterilerin kaza geçirmesi sonucu yaralanma veya ölüm	2	4	8	Acil çıkış yolları ve kapıları Güvenlik ve Sağlık İşaretleri Yönetmeliğine uygun şekilde işaretlenmelidir, işaretler uygun yerlere konulmalı ve kalıcı olmalıdır.	İşveren
10	Acil Durumlar	Acil çıkış yollarının önlerine geçiş engelleyici malzemeler konulması	Acil durumlarda personel veya müşterilerin kaza geçirmesi sonucu yaralanma veya ölüm	2	4	8	Acil çıkışların sürekli olarak açık durumda kilitli şekilde bulundurulması gerekmektedir.	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
11	Acil durumlar	Acil duruma neden olan olaya ilişkin (yangın, gaz kaçağı, deprem vb.) telefon numaralarının görünür yerlere asılmaması	Acil durum esnasında yetkili kişilere haber vermenin gecikmesi durumunda; maddi kayıp, yaralanma, ölüm.	2	3	6	Acil durumlara ilişkin telefon numaraları görünür yerlere asılmalıdır.	İşveren
12	Acil durumlar	Yangın söndürme tüplerinin belirlenen noktalarda bulunmaması	Yangına müdahale edememe	2	4	8	1. Yangın söndürme tüpleri belirlenen yerlere asılmalıdır. 2. Bilgilendirme yapılmalıdır. 3. Çalışan personel ile birlikte yangın tatbikatı yapılmalıdır. 4. Yangın tüplerinin periyodik kontrolleri yapılmalıdır.	İşveren
13	Acil durumlar	İlk yardım dolabının içinde bulunması gereken malzemelerin yetersiz olması	İlk yardım gerektiren durumların meydana gelmesi halinde gerekli müdahalenin yapılamaması	2	3	6	İçerisinde bulunması gereken malzemeler, son kullanma tarihleri dikkate alınarak bulundurulmalıdır.	İşveren
14	Ergonomi	Çalışma ortamında çalışanların uygunsuz pozisyonda çalışması ve uzun süre aynı pozisyonda çalışmasını gerektiren durumlar olması	Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları ve meslek hastalığı	2	4	8	Çalışanların uygunsuz pozisyonlarda çalışmasını gerektiren ortam koşulları; 1. Düzenlenmeli, 2. uzun süre aynı pozisyonda çalışması engellenmeli ve 3. küçük dinlenme araları verilmelidir.	İşveren
15	Ergonomi	Çalışanların işlerini yaparken çok uzak mesafelere uzanmak veya eğilmek zorunda kalması	Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları ve meslek hastalığı	2	4	8	Çalışanların işyerinde çok uzak mesafelere uzanmasını engellemek için gerekli ergonomik şartlar sağlanmalıdır.	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
16	Ergonomi	Ağır yüklerin elle kaldırılması ve taşınması	Bel ve sırt incimmeleri	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> Elle taşınacak malzemeler vücut pozisyonuna uygun şekilde taşınmalı, Bir işçinin taşıyabileceği maksimum yükten(max.25 kg) fazla yükler elle taşınmamalıdır, Elle taşıma işleri yönetmeliğine uygun şekilde taşıma yapılmalıdır. 	İşveren
17	Şantiye Güvenliği Faaliyeti	Kaza geçiren kişiye hemen müdahale edilememesi	İş kazalarına maruziyetin ve etkinin artması	1	4	4	Güvenlik birimine acil durumlarda aranması gereken acil telefon listesi tebliğ edilmelidir.	İşveren
18	Şantiye Güvenliği Faaliyeti	Şantiye içinde haberleşme eksikliği	Şantiyedeki olaylara acil müdahale edememe	2	3	6	Güvenlik birimi çalışanları konu hakkında eğitilmeli, tatbikat yapılmalıdır.	İşveren
19	Şantiye Güvenliği Faaliyeti	Üçüncü şahıslardan kaynaklanan olaylar	Güvenlik biriminin olaylara müdahale edememesi	2	4	8	Özel Güvenlik Mevzuatına uygun çalışanlar istihdam edilmelidir.	İşveren
20	Şantiye Güvenliği Faaliyeti	Sahada olumsuz davranış gösteren kişiler	Amirlere karşı istenmeyen tutumlar	2	4	8	İlgili şahısları dışarı çıkartması sahadan uzaklaştırılmalıdır.	İşveren
21	Şantiye Güvenliği Faaliyeti	Üçüncü şahısların sahaya izinsiz girişi	İş kazalarına maruz kalınması	2	5	10	Şantiye etrafının kapatılarak üçüncü kişilerin girmesi engellenmeli uyarı levhaları i,Je farkındalık sağlanmalıdır.	İşveren
22	Şantiye Güvenliği Faaliyeti	Üçüncü şahısların sahaya izinsiz girişi	Kişisel koruyucuların bulunmaması	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> Çalışma alanı girişinde eğitimlerin ve gerekli KKD lerin teslimatı yapılmalıdır. Refakatçi eşliğinde sahaya çıkılmalıdır. 	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
23	El Aletleri Kullanımı	Elektrikli el aletlerinin yanlış ve amacı dışında kullanımı	Elektrik çarpması veya yanlış kullanım sonucu yaralanma ve ölümler	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> Taşnabilir elektrikli aletler ile çalışmalarda topraklı priz kullanılacak, işçiler bol ve etekleri geniş elbiseler giymeyecekler ve kauçuk eldiven kullanılacaktır. Çift izolasyonlu olmayan elektrikli el aletlerinde topraklama hattı olup olmadığı kontrol edilecek, topraklaması olmayan el aleti kullanılmayacaktır. Elektrikli el aletlerinin kabloları ve izolasyonu kontrol edilmeli arızalı olanlar yetkili elektrikçi tarafından değiştirilmelidir, elektrikle bağlantı fişle yapıp, açık uçlu kablo kesimlikle kullanılmamalıdır. 	İşveren
24	El Aletleri Kullanımı	El aletlerinin yanlış depolanması	İş kazaları, yaralanmalar	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> Malzemeler düz bir zemine dengeli şekilde istiflenmeli ve yerleştirilmelidir. Benzer malzemeler düzenli olarak aynı yere konulmalı ve ağır malzemeler alta, zemine veya alt rafa yerleştirilmelidir. Yuvarlanabilecek malzemenin önüne tutucu konulmalıdır. Dik durumda tehlikeli olabilen uzun malzemeler, yatay konumda yerleştirilmelidir. 	İşveren
25	El Aletleri Kullanımı	El aletleri ile yapılan çalışmalar	Yanlış kullanma sonucu kaza ve yaralanma	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> El aletleri yapılacak işe uygun olmalı, bakımlı olmalıdır. Uygun yerde muhafaza edilmeli, arızalı olan el aletleri onarılmadan kullanılmamalıdır. Sapları uygun olmalı, kolayca çıkmamalı, çatlak kırık olmamalı, yağlı ve kaygan olmamalıdır. Elektrik işlerinde kullanılan penseler, kargaburunlar, tornavidalar ve benzeri el aletleri, uygun şekilde yalıtılmış ve yağdanlıkların süpürgelerinin, fırçaların ve diğer temizlik araçlarının sapları, akım geçirilmeyen malzemedir yapılmış olmalıdır. Çalışanların el aletleri kullanımında yeterli bilgi ve eğitimi olmalıdır. 	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
29	Elektrikli El Aletleri Kullanımı	El aletlerinin çalışır vaziyette bırakılması	Diğer çalışanların yaralanması	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> Aleti kullanan işçinin bilinçlendirilmesi, çalışma bitiminde alet ekipmanın tertibi sağlanmalıdır. Emniyet valfi olmayan veya acil durum butonu olmayan ekipmanlar ile çalışma engellenmelidir. Ekipmanın koruyucusunun çıkarılması engellenmelidir. 	Şantiye Şefi Ekip Başı
30	Elektrikli El Aletleri Kullanımı	Fiş prize takılmış iken ayar veya bakım yapılması	El aletinin aniden çalışması sonucu kazalar	4	3	12	<ul style="list-style-type: none"> Bakım ve ayar yapılırken prizden çıkarılmamalıdır. Kullanılmadığı süreçlerde prizden çıkılarak bekletilmelidir. 	Şantiye Şefi Ekip Başı Yetkili Elektrikçi
31	Elektrikli El Aletleri Kullanımı	Kullanılan kabloların uygun nitelikte olmaması	Yangın	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> Kullanılan kablo kesitlerinin uygun olması ve koruyucu zırhlarının olması sağlanmalıdır. Sanayi tipi kauçuk zırlı kablo kullanılmamalıdır. 	Şantiye Şefi Ekip Başı Yetkili Elektrikçi
32	Elektrikli El Aletleri Kullanımı	Kablo yalıtımlarının yıpranmış olması	Elektrik çarpması	2	4	8	Bozuk yıpranmış kablolar hemen değiştirilmelidir.	Şantiye Şefi Ekip Başı
33	Elektrikli El Aletleri Kullanımı	Koruyucunun çıkartılarak çalışılması	Parça fırlamaları sonucu yaralanma ölüm	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> Siperlikli baret verilmesi ve kullanılması sağlanmalıdır. Makine koruyucularının kontrolleri ile çıkartılmamasının önüne geçilmelidir. 	İşveren İSG Uzmanı Şantiye Şefi
34	Elektrikli El Aletleri Kullanımı	Nemli ve ıslak bölgelerde kullanma	Elektrik çarpması	3	4	12	<ul style="list-style-type: none"> Çalışma yapılan bölgenin yalıtımı yapılmalıdır. Kabloların havai hatlardan geçirilmesi sağlanmalıdır. Islak bölgelerden kablo geçirilmemesi, Yol üzerinden geçecek kabloların güvenli boru içinden geçirilmesi veya toprağa gömülmesi sağlanmalıdır. 	İşveren İSG Uzmanı Şantiye Şefi

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
35	Elektrikli El Aletleri Kullanımı	El aletlerinin bakımsız olması	El aletinin kırılarak parça sıçratarak çalışana zarar vermesi	3	3	9	Kullanmadan önce yetkili çalışan tarafından alet kontrol edilmelidir.	İşveren İSG Uzmanı Şantiye Şefi
36	El Aletleri Kullanımı (Spiral Kullanımı)	Spiral	Koruyucusunun çıkarılması	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> Hareketli parçaları olan makinelerin kontrol edilerek koruyucuların taktırılması ve devamlılığı sağlanmalıdır. KKDlerin kullanımı sağlanmalıdır. 	İşveren İSG Uzmanı Şantiye Şefi
37	El Aletleri Kullanımı (Spiral Kullanımı)	Spiral taş, Spiral taştan çıkan çapaklar	Taş parçalanması, Göze çapak isabet etmesi	4	3	12	<ul style="list-style-type: none"> Siperlik kullanılmalıdır. Çevredeki çalışanlar uyarılmalıdır. 	İşveren İSG Uzmanı Şantiye Şefi
38	El Aletleri Kullanımı (Spiral Kullanımı)	Koruyucu gözlük kullanmama	Malzeme sıçraması	3	3	9	Eğitimler düzenlenmelidir.	İşveren İSG Uzmanı
39	El Aletleri Kullanımı (Spiral Kullanımı)	Koruyucu eldiven kullanmama	Spiralin el ile teması	2	4	8	Eğitimler düzenlenmelidir.	İşveren İSG Uzmanı
40	El Aletleri Kullanımı (Spiral Kullanımı)	Yalıtımı yıpranmış kablolar	Elektrik çarpması	2	4	8	Kabloların sürekli kontrol edilmesi sağlanmalıdır.	İşveren İSG Uzmanı Şantiye Şefi
41	El Aletleri Kullanımı (Spiral Kullanımı)	Topraklaması yapılmamış el aleti kullanma	Elektrik çarpması	2	5	10	Topraklamalar yapılmalıdır.	İşveren İSG Uzmanı Yetkili Elektrikçi
42	El Aletleri Kullanımı (çekmiş, keser v.b.)	Çekiç, keser v.b. El aletleri ile çalışma	Hafif yaralanma	4	2	8	Çalışma yapacak kişiye gerekli eğitimler verilmelidir.	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
43	Yangın Söndürme Cihazları	Yangın söndürme cihazlarının olmaması veya yetersiz olması	Yangına müdahale edilememesi veya geç müdahale edilmesi sonucu yaralanma, ölüm ve maddi kayıplar	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> İşletmedeki tehlike ve risklere göre yangın söndürme cihazlarının tipi ve sayısının belirlenerek, cihazların uygun yerlere konumlandırılması gerekmektedir. (Düşük tehlike sınıfında her 500 metrekare, orta ve yüksek tehlike sınıfında her 250 metrekare için 1 adet olmalıdır) A sınıfı (katı madde) yangın çıkması muhtemel yerlerde, öncelikle çok maksatlı kuru kimyevi tozlu veya sulu olmalıdır. 	İşveren
44	Yangın Söndürme Cihazları	Yangın tüplerinin periyodik kontrolünün yapılmaması	Acil durumlarda yangına müdahale edilememesi sonucu yaralanma, ölüm ve maddi kayıplar	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> Seyyar yangın söndürme cihazları, en az 6 ayda bir defa kontrol edilecek ve kontrol tarihleri, cihazlar üzerine yazılmalıdır. Köpüklü tip (Sodyum bikarbonat- asitli) yangın söndürme cihazları, en az senede bir defa tamamen boşaltılıp yeniden doldurulmalıdır. Karbondioksitli, bikorbanot tozlu, karbon tetraklorürü ve benzeri kimyasal maddeli yangın söndürme cihazları, kullanıştan sonra derhal yeniden doldurulmalıdır. 	İşveren
45	Yangın Söndürme Cihazları	Yangın tüplerinin yerlerinin güvenlik ve sağlık işaretleri yönetmeliğine uygun olarak işaretlenmemesi	Yangına müdahale edememe, yaralanma, maddi kayıplar, ölüm	1	5	5	Yangın tüplerinin yerlerini belirten işaretlemeler güvenlik ve sağlık işaretleri yönetmeliğine uygun(kırmızı renkli işaret levhası) olarak hazırlanmalı ve kullanma talimatı ile birlikte yangın tüpünün yanında asılı durmalıdır.	İşveren
51	Yapı Alanı / Çalışabilir Raporu	Çalışanların Mesleki yeterlilik gerektiren işlerde çalışabilir raporunun olmaması	Ciddi yaralanma	1	5	5	Mesleki yeterlilik gerektiren işlerde çalışan işçilerin 'Mesleki yeterlilik gerektiren işlerde çalışabilir' raporu olmadan çalışmaya başlatılmamalıdır. Bu rapor içeriğine ayrıca yüksekte ve kapalı alanlarda çalışabilir onay raporu da eklenmelidir.	İşveren
58	Yapı alanı / Zeminler	Dağınık çalışma ortamı	İş kazaları, düşme ve yaralanmalar	5	3	15	Çalışanlar çalışma yerlerini düzenli tutmaları konusunda uyarılmalıdır.	İşveren
59	Yapı Alanı / Kullanılan Makine, Malzeme ve Çalışma Yöntemleri	Yöntem ve teçhizatın iş sağlığı güvenliği standardına uygun olmaması	İş kazaları	2	4	8	İşveren; Yapı işlerinin yapıldığı işyerlerinde kullanılan <ol style="list-style-type: none"> 1. makine, 2. araç, 3. ekipman, 4. malzeme ve 5. çalışma yöntemlerinin ilgili teknik mevzuata ve iş sağlığı ve güvenliği yönünden kabul görmüş, uyumlaştırılmış ulusal veya uluslararası standartlara uygun olması sağlanmalıdır. 	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
60	Kaynak İşleri	Genel güvenlik önlemlerinin alınmaması	Elektrik kazaları, ciddi yaralanma, ölüm	2	5	10	Elektrik kaynak makinalarının kullanılmasında; 1. Elektrik kaynak makinaları ve teçhizatı yalıtılmış ve topraklanmış kaynak penseleri kabız ve dış yüzleri yalıtılmış olmalıdır. 2. Elektrik kaynak makinalarının şalteri, makina üzerinde veya çok yakınında bulunacak, kablolar sağlam şekilde tespit edilmiş olmalıdır. 3. Beslenme ve kaynak kabloları, üzerinden taşıt geçmesi halinde, zedelenmeyecek ve bozulmayacak şekilde korunmalıdır. 4. Yangınla ilgili güvenlik önlemleri alınmadan çalışmaya başlanmamalıdır.	İşveren
61	Kaynak İşleri	Çalışanın sıcak işlerde çalışabileceğine dair izninin (kaynak ehliyeti) bulunmaması	İş kazaları	1	5	5	Sıcak işler kapsamına dahil olan kaynak çalışmaları, çalışmaya başlanmadan önce kimlerin ne kadar sürede çalışacağına dair bildirimde buldukları bir izin kağıdı imzalandıktan sonra işlerine başlanmalıdır.	İşveren
62	Kaynak İşleri	Onarımına ehil olmayan kişilerin müdahale etmesi	İş kazaları, ciddi yaralanmalar, ölüm	2	5	10	Elektrik kaynak makinası bağlantıları ve prizler, yalnız yetkili elektrikçiler tarafından yapılmalı ve değiştirilmeli, kaynak işlerinde ise ehil kaynakçılar çalıştırılmalıdır.	İşveren
63	Kaynak İşleri	Kaynakçının ehil olmaması	İş kazaları, ciddi yaralanmalar, ölüm	1	5	5	Kaynak işlerinde çalışan personel Mesleki Yeterlilik Kurumlarından ve gerekli standartlarda hottap kaynakçısı belgesine ve gerekli yeterlilikteki sertifikaya sahip olmalıdır.	İşveren İSG Uzmanı İşyeri Hekimi Şantiye Şefi
64	Kaynak İşleri	Makine Koruyucusunun olmaması	Elektrik kazaları, ciddi yaralanma, ölüm	1	5	5	Elektrik kaynak veya kesme makinalarında kullanılan • elektrojen grupları, • elektrik redresörleri veya • transformatörleri ile bunların gerilim altındaki yalıtılmamış kısımları, dokunmalara karşı korunmuş ve elektrik kaynak makinalarının metal çerçeveleri uygun şekilde topraklanmış olmalıdır.	İşveren
65	Kaynak İşleri	Kaynak makinasındaki akımın çalışma ortam koşullarına uygun olmaması	Elektrik kazaları, ciddi yaralanma, ölüm	2	4	12	• Nemli yerlerdeki kaynak çalışmalarında, yalnız doğru akım kullanılmalıdır. • Saşe çalışma öncesi bağlanması sağlanmalıdır.	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
66	Kaynak İşleri	Yanıcı maddelerin yakınında çalışma	Yangın ve Patlama	3	5	15	<ul style="list-style-type: none"> Yanıcı malzemenin olduğu alanda çalışılmamalıdır, Su sisi, alev yürütür kaynak çadırı, 1. yangın söndürme ekipmanlarının kullanımı ve, 2. Yanıcı maddelerin uzaklaştırılması sağlanmalıdır. 	İşveren
67	Kaynak İşleri	Bakım sırasında makinenin şebeke bağlantısının kesilmemiş olması	Elektrik kazaları, ciddi yaralanma	2	4	8	Elektrik kaynak makinalarının temizlenmesi tamir ve bakımı veya çalışma yerinin değiştirilmesi sırasında, makineler şebekeden ayrılıp elektriği kesilmelidir.	İşveren
68	Kaynak İşleri	Parçalarının topraklanmamış olması	Elektrik kazaları, ciddi yaralanma, ölüm	2	5	10	Elektrik kaynak ve kesme makinalarının çıkış uçlarının veya kaynak devrelerinin birer kutbu, kaçak akımlara karşı, iş parçasında topraklanmış olmalıdır.	İşveren
69	Kaynak İşleri	Kaynak gazları	Gazların solumması	2	4	8	Toz Maskesi kullanılması, kapalı ortamlar için aspirasyon sistemi yapılmalıdır.	İşveren
70	Kaynak İşleri	Tüplerin açıkta depolanması	Yangın ve Patlama	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> Tüplerin dolu-boş ayrımı yapılarak üstü kapalı demir kafeslerde depolanması, ateşle yaklaşma uyarı levhaları asılması, yangın tüpü bulundurulması, güneş ışınlarına ve ısıya sürekli maruziyet engellenmelidir. 	İşveren
71	Kaynak İşleri	Oksi-asetilen tüplerin geri tepme valfinin olmaması	Alevin tüp içerisine girmesi sonucu patlama	2	5	10	Tüplere geri tepme valfleri takılmalı ve çalışma öncesi boru valf kontrolü yapılmalıdır.	İşveren
72	Kaynak İşleri	Tüpler için taşıma arabalarının olmaması	İnsan gücü ile taşınması sonucu devrilme	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> 3 ayak Taşıma arabaları temin edilmesi Zincir ile arabalara sabitlenmesi statik elektriklenmeye karşı plastik zincir veya zincirlerin plastik kaplanması gibi önlemler alınmalıdır. 	İşveren
73	Kaynak İşleri	Tüplerin bağlanmaması	Devrilme	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> 3 ayak Taşıma arabaları temin edilmesi Zincir ile arabalara sabitlenmesi statik elektriklenmeye karşı plastik zincir veya zincirlerin plastik kaplanması gibi önlemler alınmalıdır. 	İşveren
74	Kaynak İşleri	Oksi-asetilen tüplerin basınç göstergelerinin bozuk olması	Yüksek basınçla çalışma	3	4	12	<ol style="list-style-type: none"> Basınç göstergelerinin tamir edilmesi ve Kalibrasyonlar sağlanmalıdır. 	İşveren
75	Kaynak İşleri	Depolama alanlarının bilinçsiz kullanımı	Acil durumda müdahale edememe	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> Tüpler ile yangın söndürücüler aynı ortamda bulunmamalıdır. Yangın müdahale ekipmanları herkezin ulaşabileceği yerlerde ve sıklıkta olmalıdır. 	İşveren

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
76	Kaynak İşleri	Yağlı el veya eldivenle oksijen tüplerinin kullanılması	Patlama ve yangın	2	5	10	Yağlı el veya eldivenle tüplerin kullanılmamasıdır, bu konuda gerekli bilinçlendirilmenin yapılmasıdır.	İşveren
77	Kaynak İşleri	Kaynak sırasında oluşan çapaklar	Çapakları çekici ile uzaklaştırırken göze çapak kaçması	4	3	12	1) Korumacı iş gözlüğü kullanılması 2) Su sisi uygulaması yapılması 3) Yangın battaniyesi kullanılması.	İşveren
78	Elektrod kaynağı akım üreteçleri	Elektrik çarpması	Elektrik çarpması	3	3	9	Topraklamalar yapılmalıdır.	İlgili firma
79	Kaynak işleri	Elektrod kaynağı akım üreteçleri	İzolasyonun yıpranması	3	3	9	İzolasyonlarının takip edilerek arızalı kısımlar düzeltilmelidir.	İlgili firma
80	Kaynak İşleri	Kaynak ışınları	Gözlere zarar	4	4	8	<ul style="list-style-type: none"> Kaynak gözlüğü kullanılması Kaynakçıların günde maksimum 7.5 saat çalıştırılması Periyodik sağlık muayenelerinin yaptırılması 	İlgili firma
81	Kaynak İşleri	Kaynak ışınları	Vücut yanıkları	2	4	8	Alev yütürtür Nomex İş elbisesi kullanılmalıdır.	İlgili firma
82	Kaynak işleri(elektrikli el aletleri kullanımı)	Ev tipi priz kullanımı	elektrik çarpması, elektrik kesintisi, elektrik hattı yanması, elektrikli ekipmanın bozulması	2	4	8	Saha tipi priz kullanılmalıdır.	İlgili firma
83	Elektrik Panoları	Pano topraklamasının yapılmamış olması	Elektrik Çarpması	2	4	8	Elektrik birimi tarafından topraklamalar yapılmalıdır.	İşveren
84	Elektrik Panoları	Yalıtılmamış priz kullanılması	Elektrik Çarpması	2	4	8	Prizler kontrol edilerek düzeltilmeli, konu hakkında talimat verilmelidir.	İşveren
85	Elektrik Panoları	Pano kapaklarının açık olması	Yetkisiz kişilerin müdahalesi	2	3	6	Pano kapakları her an kapalı tutulmalıdır.	İşveren
86	Elektrik Panoları	Panoların sabitlenmemesi	Devrilmeyen kaynaklı elektrik kaçağı	2	4	8	Elektrik panoları sabitlenmiş olarak kullanılmalıdır.	İşveren
87	Elektrik Panoları	Yetkisiz kişilerce müdahale	Elektrik çarpması	2	3	6	Pano üzerinde yetkili kişilerin bilgileri yazılmalı, işçiler bu yönde bilinçlendirilmelidir..	Şantiye şefi

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
88	Elektrik Panoları	Elektrik kaçağı	Elektrik Çarpması	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> Uygun antistatik kişisel koruyucu donanımlar verilmeli. Pano önüne yalıtkan paspas konulmalı. 	İlgili firma
89	Elektrik Panoları	Panoların önünde yalıtkan paspas olmaması	Elektrik Çarpması	2	4	8	Yalıtkan paspas temin edilmelidir.	İşveren
90	Elektrik Panoları	Panolardaki yalıtımın eksik olması	Elektrik Çarpması	2	4	8	Eksik olanlar tespit edilerek, elektrik birimi tarafından tamamlanmalıdır.	İşveren Yetkili Elektrikçi Şantiye Şefi
91	Elektriksel donanım bakım-onarım faaliyetleri	Kabloların Açık Yerlerden Geçmesi	İşçileri Elektrik Çarpması	2	4	8	Açık Zeminden Geçen Kabloların Zemine Gömülmesi veya yukarıdan geçmesi sağlanmalıdır.	İlgili firma
92	El İle Malzeme Taşıma İşleri	Taşınacak malzemenin ağır olması	Taşınacak olan malzemenin ağır olması sonucu bel bölgesinin sakatlanması	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> Taşınacak malzemenin kişinin taşıyacağı ağırlıkta olması sağlanmalıdır, aksi takdirde taşıma işlemi yaptırılmamalıdır. Taşınacak olan malzeme bir kişinin taşıyacağı yükten fazla ise başka çalışanlardan destek istenerek ortaklaşa malzeme taşınmalıdır. 	İlgili firma
93	El İle Malzeme Taşıma İşleri	Taşınacak malzemenin ağır olması	Taşınacak olan malzemenin ağır olması sonucu bel bölgesinin sakatlanması	3	3	9	Taşınacak olan malzemelerin uygun kaldırma taşıma aletleri ile taşınması sağlanmalıdır.	İlgili firma
94	El İle Malzeme Taşıma İşleri	Taşınacak malzemenin uygun istiflenmemesi sonucu el sıkışması	Uygun istiflenmemiş malzeme sonucu el sıkışması	3	2	6	İstiflenecek olan malzemeye uygun sıkışmayan eldivenlerin kullanılarak istiflenmesi sağlanmalıdır.	İlgili firma
95	El İle Malzeme Taşıma İşleri	Taşıma esnasında malzemenin kayarak düşmesi	Malzemenin kayarak ayağa düşmesi sonucu yaralanma	3	2	6	Taşıma işlemi esnasında çelik burunlu iş ayakkabısının giyilmesi sağlanmalıdır.	İlgili firma
96	El İle Malzeme Taşıma İşleri	Taşıma esnasında malzemenin kayarak düşmesi	Malzemenin kayarak ayağa düşmesi sonucu yaralanma	3	2	6	Çalışanlara güvenli bir şekilde malzeme taşınmaları ile ilgili olarak eğitim verilmesi sağlanmalıdır.	İlgili firma

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
97	Psikososyal etmenler	Çalışma saatleri içerisindeki ara dinlenmelerinin süresinin az olması	Aşırı yorgunluk, dikkat kaybı vb. sonucu iş kazası ve yaralanma	2	2	4	Günlük çalışma süresinin ortalama bir zamanında o yerin gelenekleri ve işin gereğine göre ayarlanmak suretiyle işçilere; 1) Dört saat veya daha kısa süreli işlerde onbeş dakika, 2) Dört saatten fazla ve yedibuçuk saate kadar (yedibuçuk saat dahil) süreli işlerde yarım saat, 3) Yedibuçuk saatten fazla süreli işlerde bir saat ara dinlenmesi verilmelidir.	İşveren
98	Psikososyal Etmenler	İşyerinde mobbing(baskı)	Huzursuzluk, moral-motivasyon düşüklüğü, işine kendisini verememe	2	3	6	Periyodik sağlık muayenelerinin sürekliliği sağlanmalıdır, muayene sonuçlarına göre özel durum arz eden işçiler için gerekli sağlık tedbirleri alınmalı ve durumlarına göre uygun işlerde çalıştırılmalıdır.	İşveren
99	Psikososyal Etmenler	Çalışanların görev tanımlarının yapılmamış olması	Bilinçsiz çalışma	2	3	6	Tüm personele görev ve sorumluluklarını içeren eğitim verilmeli ve talimat hazırlanarak çalışanlara tebliğ edilmesi gerekmektedir.	İşveren
100	Hot-tap	Prosedür Oluşturulmaması/ Uyulmaması	Yaralanma Ölüm	2	4	8	Çalışma öncesi yetkili ekip tarafından prosedür oluşturulmalı ve işbaşı toplantıları ile çalışanlara farkındalık sağlanmalıdır.	Teknik Ekip
101	Hot-tap	Kaynak Sebepli Kazalar	Patlama Yangın Yaralanma Ölüm	2	5	10	<ul style="list-style-type: none"> API 1104 standardına uygun kaynakçı çalıştırılması ve demo uygulamaların yapılması, Hattın özelliklerine göre kaynak prosedürü oluşturulması, Kaynak sırasında geekli soğuma molarının verilmesi sağlanmalıdır. 	Teknik Ekip
102	Hot-tap	İletişimin sağlanmaması	Maddi Zarar, Patlama, Yaralanma	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> Çalışma öncesi tüm ekipler arası koordinasyon sağlanmalıdır, hottap işlemi sürecinde akımın kesilmemesi için gerekli etiketleme ve bilgilendirme çevre çalışanlarına yapılmalıdır. 	Teknik Ekip
103	Hot-tap	Hottap Makinasının Parça yedeklerinin Bulunmaması	Kaçak oluşması, Maddi Zarar, Zehirlenme, Ölüm	2	4	8	Çalışma öncesi hottap makinasına yetkin çalışan tarafından parça kontrolü yapılması ve kesici gibi parçaların yedeklerinin hazır bulundurulması sağlanmalıdır.	Teknik Ekip

Tablo Ek-1: (Devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	RDS	Önlem	Sorumlu
104	Hot-tap	Kuponun* hatta düşmesi	Maddi zarar	3	4	12	1. U telin kontrolünün yapılması 2. Kalifiye ve sertifikalı personel ile çalışılması sağlanmalıdır.	Teknik Ekip
105	Hot-tap	Hatta çatlak Oluşması	Maddi Zarar, Patlama, Yaralanma	3	4	12	<ul style="list-style-type: none">Düzenli soğutma aralarının verilmesiUygun kaynak prosedürü oluşturularak çalışmaya başlanmasıKaynak mühendisi kontrolünde çalışılması sağlanmalıdır.	Teknik Ekip
106	Hot-tap	Makine periyodik kontrollerinin yapılmaması	Maddi zarar	2	3	6	Hot-tap makinasının üretici firma tarafından eğitim görmüş kişilerce firmanın öngördüğü süreçlerde periyodik kontrolün yapılması sağlanmalıdır	Teknik Ekip



Pandemi Sürecinde Uzaktan Eğitim İle Yürütülen Teknik Resim Dersine Dair Bir Değerlendirme: Çukurova Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü Örneği

Kemal Sakarya^{1*}

^{1*} Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7294-4981), ksakarya85@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 24 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902104)

ATIF/REFERENCE: Sakarya, K. (2021). Pandemi Sürecinde Uzaktan Eğitim İle Yürütülen Teknik Resim Dersine Dair Bir Değerlendirme: Çukurova Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 282-290.

Öz

Uluslararası seviyede yayılan Covid-19 salgını tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de etkisini göstermiş, salgının yayılma hızını kontrol altına alabilmek adına bir takım kısıtlamalar getirilmiştir. Başta ulaşım olmak üzere, imalat, perakende ticaret, sanayi ve hizmet sektörleri gibi birçok alanda faaliyetler kısmen azaltılmış veya normalleşme sürecine girilene kadar askıya alınmıştır. Eğitim sektörü de küresel pandemiden oldukça etkilenmiş, 2019-2020 Eğitim Öğretim Dönemi Güz Yarıyılında yüz yüze olarak başlayan eğitim, pandemi ilanından itibaren ilköğretimden lisansüstü seviyeye kadar tüm kademelerde uzaktan öğretim yöntemi ile devam ettirilmiştir. Çalışma kapsamında pandemi döneminde eğitim gören her iki öğretim yöntemini de deneyimleyen Çukurova Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü öğrencilerinin Teknik Resim dersi özelinde yürütülen uzaktan eğitimle ilgili görüşleri incelenmiştir. Ayrıca öğrencilerin öğretim yöntemleri hakkında karşılaştırmalı geri bildirimleri yorumlanarak, uzaktan eğitim sisteminin olumlu ve olumsuz yönleri ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Çalışmada öğrencilerin Teknik Resim dersinde izlenen uzaktan öğretim yöntemini olumlu olarak değerlendirdikleri, ancak geleneksel stüdyo yöntemi ve uzaktan öğretim yöntemleri kıyaslandığında, baskın olarak stüdyo yöntemini tercih ettikleri sonucuna ulaşılmıştır. Olumlu ve olumsuz yönleriyle birlikte değerlendirildiğinde uzaktan eğitim sisteminin Teknik Resim dersindeki öğrenme etkinliğini destekleyici niteliğinin yadsınamaz bir gerçek olduğu söylenebilir. Her iki yöntemin olumlu yönlerinin birleştirilebileceği karma bir öğretim yöntemiyle derslerdeki motivasyon, başarı ve öğrenme düzeyi artırılabilir. Öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Eğitim, Pandemi, Teknik Resim, İç Mimarlık.

An Evaluation of the Technical Drawing Course Conducted with Distance Education During the Pandemic Process: Cukurova University Department of Interior Architecture Example

Abstract

The Covid-19 epidemic spreading at the international level, had its effect in our country as well as all over the world, and some restrictions were imposed in order to control the rate of spread of the epidemic. Activities in many areas such as transportation, manufacturing, retail trade, industry and service sectors were partially reduced or suspended until the normalization process started. Education sector also affected by the global pandemic and the education started face-to-face in the 2019-2020 Education Term Fall semester, has been continued by distance education at all levels from primary education to graduate level since the pandemic announcement. Within the scope of the study, the opinions of the Cukurova University, Department of Interior Architecture students, who experienced both education methods by training in pandemic period, about the distance education carried out in the *Technical Drawing* course were examined. In addition, the positive and negative aspects of the distance education method were tried to be revealed by interpreting the comparative feedbacks of the students about their education methods. In the study, it was concluded that the students evaluate the distance education method followed in the Technical Drawing course as positively, however, when the traditional studio method and distance education methods are compared that the studio method is predominantly preferred. When evaluated together with its positive and negative aspects, it can be said that the supporting feature of the distance education method in the *Technical Drawing* course is an undeniable fact. The motivation, achievement and learning level in the lessons can be increased with a mixed education method in which the positive aspects of both methods can be combined.

Keywords: Distance Education, Pandemic, Technical Drawing, Interior Architecture.

* Sorumlu Yazar: ksakarya85@gmail.com

1. Giriş

Üniversitelerde verilen örgün eğitim, 2019-2020 Eğitim - Öğretim Dönemi Bahar Yarıyılında yüz yüze eğitimle başlamış ancak Covid-19 pandemisi nedeniyle verilen 3 haftalık aranın ardından uzaktan eğitim ile tamamlanmıştır. Olağanüstü bir durum olarak değerlendirilebilecek pandemi süreci, salgının etkilerini hafifletebilmek adına alınan şehirlerarası ulaşım yasağı ve belirli yaş grupları için sokağa çıkma yasağı gibi bir takım kısıtlamaları beraberinde getirmiştir. Kısıtlamaların yüz yüze eğitim olanağını ortadan kaldırması, eğitimin sürdürülebilmesi için geleneksel öğretim yönteminin uzaktan eğitime hızlı bir biçimde dönüşümü gerektirmiştir. Böylece aktif olarak öğrenim gören bütün öğrenciler aynı yıl içerisinde hem yüz yüze hem de uzaktan öğretim yöntemini deneyimleme olanağı bulmuşlardır. Hem eğitimciler hem de öğrenciler, zorunlu olarak gerçekleşen bu dönüşüm sürecinde olumlu veya olumsuz pek çok deneyim edinmişlerdir.

Henüz eğitim hayatlarının başlangıcında olan İç Mimarlık Bölümü 1. Sınıf öğrencileri de benzer şekilde aşına olmadıkları bir yöntemle eğitim almak durumunda kalmışlardır. Daha önce herhangi bir uzaktan eğitim deneyimi bulunmayan İç Mimarlık Bölümü öğrencilerinin yeni öğretim yöntemine adaptasyonu, araştırmanın temel problemi olarak belirlenmiştir. Niteliği gereği teorik ve uygulamalı derslerden oluşan İç Mimarlık Bölümü ders planında yer alan ve İç Mimarlık eğitiminin temel derslerinden birisi olan Teknik Resim ve Tasarı Geometri dersi, araştırma problemi kapsamında yapılan sorgulamalarda araştırmanın sınırlılığını oluşturmaktadır. Eğitim ve meslek hayatı boyunca yapılan mekân tasarımlarının iki ve üç boyutlu ifadelerinde kullanılacak teknik çizimler ile ilgili kural ve bilgilerin öğretildiği Teknik Resim ve Tasarı Geometri dersinin, İç Mimarlık disiplininin önemli derslerinden biri olması nedeniyle araştırma sınırlılığı olarak belirlenmiştir. Teorik anlatımın ve anlatılan konuların uygulamalarının yapıldığı, ödevler ile desteklenen bir öğretim sürecine sahip olan Teknik Resim dersinin uzaktan öğretim yöntemiyle yürütülmesi, araştırmada öğrenci özelinde irdelenmiştir.

Çalışma kapsamında süreç içerisinde hem yüz yüze hem de uzaktan öğretim yöntemini deneyimleyen öğrencilerin öğretim yöntemleri hakkında karşılaştırmalı geri bildirimlerini almak amaçlanmıştır. Araştırmadan elde edilen verilerin yorumuyla, özellikle uygulamalı derslerin uzaktan öğretim yöntemiyle yürütülmesinin öğrenciler açısından olumlu ve olumsuz yönleri ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte uzaktan eğitim sisteminde eğitimcinin izlediği bilgi aktarım yöntemlerinin öğrencide karşılık bulma düzeyinin değerlendirilmesi de araştırmanın diğer bir amacıdır. Böylece ileride uzaktan eğitim ile verilecek uygulamalı derslerde eğitimin niteliğini arttırabilecek geliştirmelerin uygulanabileceği düşünülmektedir.

Çalışmadan elde edilen geri bildirimlerle, ilerleyen dönemlerde yürütülecek derslerde uygulanan metotların geliştirilebilmesi ve verilen eğitimin kalitesinin artırılması adına güncellemelerin yapılabilmesi bu çalışmanın yürütülmesindeki önemli gerekçelerindendir. Eğitimin başarıyla sonuçlanabilmesi, eğitimcinin aktardığı bilginin öğrenciye doğru ve yeterli şekilde ulaşabilmesiyle mümkün olmaktadır. Eğitim süreci içerisinde konuların anlatımını, uygulamaların yaptırımını, verilen ödevleri ve ödevlerin değerlendirilmelerini kapsayan öğretme ve öğrenme etkinliğinin gerçekleşebilme düzeyinin sorgulanması çalışmanın yapılmasındaki diğer bir gerekçe olarak gösterilebilir.

2. Literatür Taraması

Eğitimin eş zamansız olarak yapılabilmesiyle birlikte, eğitimci ve öğrenci iletişiminin aynı mekânda bulunmaya gerek kalmaksızın sağlanabilmesi olanakları bakımından geleneksel eğitimden ayrılan (Sakarya, 2019, s.391) uzaktan eğitim, günümüzde aktif bir biçimde kullanılmaktadır. Eğitimci ve öğrencilerin uzaktan eğitim hakkındaki görüşleri konusunda yapılan literatür taramasında, 2020 yılında yürütülen araştırmaların yoğunlukta olduğu gözlenmiştir. Üniversitelerde verilen örgün eğitimin, COVID-19 pandemisi nedeniyle toplum sağlığı gözetilerek hızlı bir şekilde uzaktan eğitime dönüştürülmek zorunda kalınması bu durumun nedeni olarak gösterilebilir. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda uzaktan eğitim sisteminin genellikle teorik dersler özelinde incelendiği gözlenmiş, ancak spesifik bir uygulamalı tasarım dersine ait eğitim süreçleri üzerindeki etkisinin incelenmesine yönelik bir yayına çok fazla rastlanmamıştır. Lisans düzeyinde eğitim veren kurumlarda yapılan bazı çalışmalar şu şekilde örneklendirilebilir:

Eygü ve Kahraman (2013) tarafından 335 ön lisans öğrencisi ile yürütülen çalışmada uzaktan eğitim öğrencilerinin almakta oldukları eğitime yönelik memnuniyet algıları incelenmiştir. Çalışma sonucunda öğrencilerin yaş, bilgisayar kullanabilme düzeyi ve günlük bilgisayar kullanma süreleri ile uzaktan eğitimdeki memnuniyet faktörleri arasında ilişki olduğu saptanmıştır (Eygü ve Kahraman, 2013, s.54).

Bircan, Eleroğlu, Arslan ve Ersoy (2018) tarafından yürütülen çalışmada, Cumhuriyet Üniversitesi Uzaktan Eğitim Merkezi'nde zorunlu dersleri alan öğrencilerin, uzaktan eğitimde sunulan derslere karşı ilgileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda öğrencilerin derslere yönelik bakış açılarının cinsiyetlere göre farklılık göstermediği, derslerin uzaktan eğitimle verilmesini benimsemedikleri ve yüz yüze sunulmasını istedikleri tespit edilmiştir (Bircan, Eleroğlu, Arslan ve Ersoy, 2018, s.91).

Demir ve Narlıkaya (2020) tarafından yürütülen çalışmada Covid 19 salgını sürecinde muhasebe ve finans derslerini alan öğrencilerin uzaktan eğitime ilişkin tutumları incelenmiştir. Çalışma sonucunda öğrencilerin tutumlarının cinsiyete göre anlamlı bir farklılık göstermezken, akademik performans, sınıf, internet kullanım süresi ve uzaktan eğitim ön bilgi düzeyi değişkenleri açısından anlamlı farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Demir, Narlıkaya, 2020, s. 2894).

Aristovnik, Keržič, Ravšelj, Tomažević, ve Umek, L. (2020) tarafından yürütülen çalışmada 62 ülkeden 30383 öğrencinin katılımıyla öğrencilerin uzaktan eğitim hakkındaki görüşleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda öğrencilerin uzaktan eğitim sürecinde yaşadıkları sıkıntılar nedeniyle hayal kırıklığına uğradıkları, gelecekteki mesleki kariyerleri için kaygılı oldukları tespit edilmiştir. Bununla birlikte erkek, yarı zamanlı, uygulamalı bilimlerde öğrenim gören, düşük yaşam standardına sahip öğrencilerin pandemi sürecinde daha çok yıprandıkları ve memnuniyetlerinin etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır (Aristovnik, Keržič, Ravšelj, Tomažević, Umek, L., 2020, s.8460).

AL-ayash ve Hussein (2020) tarafından yürütülen çalışmada Jordan Petra University ve Bahrain Gulf University'de yer alan İç Mimarlık Bölümlerinin pandemi sürecindeki eğitim deneyimleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda çevrimiçi eğitimde bazı problemler ve zorluklarla karşılaşıldığı, bununla birlikte uzaktan eğitim sürecinin ulusal ve uluslararası

paydaşlarla genişletilerek eğitime katkı sağlanabildiği tespit edilmiştir (AL-ayash, Hussein, 2020, s.13199).

Purbo (2020) tarafından yürütülen çalışmada sanat öğretiminde uzaktan eğitimin pandemi sürecindeki değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda salgın sonrasında sanat öğretimi özelinde uzaktan eğitimin geliştirilmesi ile ilgili önerilerde bulunulmuştur (Purbo, 2020, s.5).

Ahmad, Sosa ve Musfy (2020) tarafından yürütülen çalışmada BAE Zayed Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü akademisyenlerinin Covid 19 pandemisi süresince verilen tasarım eğitimine yaklaşımları incelenmiştir. Çalışma sonucunda uzaktan tasarım eğitiminin akademisyenlerin gözünden olumlu ve olumsuz yönleri ortaya konulmuştur (Ahmad, Sosa, Musfy, 2020, s.178).

Toquero (2020) tarafından yürütülen çalışmada Covid 19 pandemisinin lisans eğitim sürecine etkileyen zorlukları ve yarattığı fırsatları ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda pandemi boyunca değişen öğrenci ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde eğitimde kaliteyi yükseltme, öğrencileri destekleme ve erişilebilirlik sağlama gibi konularda yükseköğretim kurumlarına önerilerde bulunulmuştur (Toquero, 2020, s.5).

Varma ve Jafri (2020) tarafından yürütülen çalışmada Hindistan'da Mimarlık eğitimi veren yükseköğretim kurumlarının pandemi sürecine nasıl tepki verdiği incelenmiştir. Çalışma sonucunda incelenen tüm kurumlarda çevrimiçi öğretime geçişi fazla zorluk çekmeden başardığı, öğrencilerin üçte biri haricinde çevrimiçi öğretimden memnun olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte gelecekte Hindistan'da mimarlık eğitimi için geleneksel ve uzaktan öğretim yöntemlerini içeren karma eğitimin kullanılacağı savunulmuştur (Varma, Jafri, 2020, s.1).

Bingöl (2020) çalışmasında Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü lisans öğrencilerinin pandemi sürecindeki öğretim yöntemlerindeki memnuniyetlerini ve uzaktan eğitim sisteminin Peyzaj Mimarlığı bölümlerinde

uygulanabilirliğini incelemiştir. Çalışma sonucunda acil uzaktan öğretimin Peyzaj Mimarlığı bölümlerindeki uygulamalı derslerde, bilgisayar destekli tasarım dersleri hariç kullanılmasının uygun olmadığı savunulmuştur (Bingöl, 2020, s.897).

Dilmaç (2020) çalışmasında sanat ve tasarım eğitimi alan öğrencilerin pandemi sürecindeki eğitimleri hakkındaki görüşleri incelenmiştir. İzmir Katip Çelebi Üniversitesinde öğrenim gören farklı bölümlerden 45 öğrenci ile yürütülen çalışma sonucunda öğrencilerin motivasyon eksikliği yaşadığı, sosyalleşme gereksinimlerini sağlayamadıkları ve sanat derslerindeki bazı pratikleri deneyimleyemedikleri tespit edilmiştir (Dilmaç, 2020, s.113).

Şen ve Kızılcaoğlu (2020) tarafından yürütülen çalışmada uzaktan öğretim sürecinin yansımaları öğrenci ve akademisyen açısından irdelenmiştir. Çalışma sonucunda çevrimiçi derslerin sıkıcı bulunması, sosyalleşmeye engel olunması, akademisyenler ile kurulan bağdan yoksun bırakılması gibi nedenlerle uzaktan eğitim sürecinden memnun kalmadığı tespit edilmiştir. (Şen, Kızılcaoğlu, 2020, s.250).

Beklenmedik bir şekilde duraklayan eğitimin kaldığı yerden devam edebilmesi için dönüştürülen ve hızlı bir biçimde adapte olmak zorunda kalınan uzaktan eğitim sistemi hakkında farklı şehir ve ülkelerde yürütülen çalışmalardan elde sonuçların benzerlik göstermesi oldukça dikkat çekicidir.

3. Pandemi Öncesi ve Sonrasında Eğitim Süreci

Tablo 1'de Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi İç Mimarlık Bölümü müfredatında yer alan *Teknik Resim ve Tasarı Geometri* dersinin pandemi öncesi ve sonrasındaki öğretim yöntemlerinin karşılaştırması yer almaktadır. Pandemi ile birlikte ders süresi, öğretim metod ve teknikleri, kullanılan ders materyalleri gibi konularda değişikliğe gidilmiştir.

Tablo 1. Pandemi Öncesi ve Sonrasında Öğretim Yöntemleri

	Örgün Eğitim	Uzaktan Eğitim
Ders Süresi	Haftalık 4 saat	Haftalık 2x45 dakika
Ödev Kontrolü	Evet	Evet
Konu Anlatımı	Evet	Evet
Ders Esnasında Uygulama Yapılması	Evet	Hayır
Öğrencilerin Derse Aktif Katılımları	Evet	Kısmen
Kullanılan Materyaller	Basılı föyler	Dijital föyler
Çizerek Anlatım	Evet	Evet
Konu Anlatımında Çizim Yöntemi	El çizimi	Dijital Çizim

Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi İç Mimarlık Bölümünde *Teknik Resim ve Tasarı Geometri* dersinin pandemi dönemi öncesindeki örgün eğitimi, etkileşimli anlatım ile gerçekleştirilmektedir. Etkileşimli anlatımda öğrencinin derse aktif olarak katılması, böylece öğrenme etkinliği içerisinde yer

alabilmesi sağlanmaktadır. Rutin bir ders gününde, eğer bir önceki ders ödev verildiyse o ödevin kontrolü ve değerlendirmesi, sonrasında o derste yeni konunun anlatımı, sınıf içi çizim uygulaması yapılması ve ödev verilmesi sıralamasıyla ilerlenmektedir.

Eğer ödev kontrolü yapılacaksa eğitmen, öğrencilerin ödevde yapmış olabileceği hataları anlatmakta ve öğrencilerden çizimlerinde bu hatalar varsa işaretlemelerini istemektedir. Böylece öğrenciler kendi çizimlerinin kontrolünü yaparak hatalarını daha rahat fark etmekte ve ileriki uygulamalarda aynı hataları daha az tekrarlamaktadır. Kontroller tamamlandıktan sonra sınıf içi uygulamasında bu kez eğitmen tarafından kontrol edilmek üzere masadan kaldırmaları istenmektedir.

Eğer konu anlatımı yapılacaksa, eğitmen tarafından hazırlanan föyler anlatım başlamadan önce öğrencilere dağıtılmaktadır. Föylerin içeriği müfredatta yer alan konulara göre yazılı, görsel veya çizim olarak değişebilmektedir. Öğrencilerin dersi dinlerken bir yandan da föylerdeki çizim detaylarını ve aşamaları takip etmeleri sağlanmaktadır. Anlatım, konu hakkında ön bilgi verildikten sonra eğitmen tarafından tahtaya çizilerek yapılmaktadır. Bu aşamada öğrencilerin yapılan çizimi özümseyerek ilerlediklerine dikkat edilmekte, böylece ezberlemek yerine öğrenerek çizim yapmaları teşvik edilmektedir. Gelen sorulardan hareketle öğrencilerin kafalarının karıştığı ya da tam olarak emin olamadıkları anlaşıldığında, soruyu soran öğrenci tahtaya davet edilerek çizime kendisinin devam etmesi istenmektedir. Çizerken kafa karışıklığı yaratan detaya dikkat çeken eğitmen, öğrencinin sorusunun cevabını kendisiyle birlikte bütün sınıfın almasını sağlamakta, böylece sınıf genelinde öğrenme düzeyi artırılabilir. Dolayısıyla öğrencilerin anlaşılmayan herhangi bir detayda soru sormaktan ve merak ettiklerini paylaşmaktan, gerektiğinde tahtaya kalkmaktan çekinmeyerek derse aktif katılım sağlamaları etkileşimli bir anlatım için oldukça önemlidir.

Konu anlatımı belirli bir olgunluğa eriştiğinde veya tamamlandığında sınıf içi çizim uygulaması başlatılmaktadır. Bu uygulamada eğitmenin hazırladığı bir taslağın çizimi öğrenciler tarafından yapılmaktadır. Uygulama çizimi sınıfa dağıtıldıktan sonra öğrencilere incelemeleri için zaman verilmekte ve anlamadıkları noktaları sormaları istenmektedir. Sorulara genel olarak cevap verildikten sonra öğrenciler çizim yapmaya başlamakta, eğitmen ise masaları dolaşarak her öğrencinin

çizimini kontrol etmekte, daha önce sorulmayan yeni soruları yanıtlamakta ve çizim esnasında yapılan hataları göstererek düzeltmektedir. Ayrıca ders başlangıcında yapılan ödev kontrolünde öğrencilerin işaretleme yaptığı paftalar da yine bu aşamada incelenmektedir.

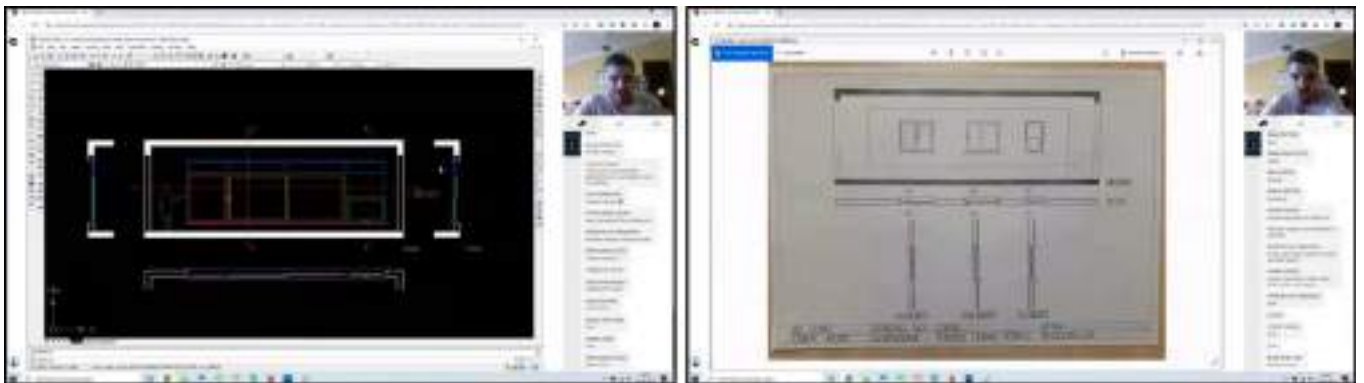
Teknik Resim ve Tasarı Geometri dersi için ayrılan haftalık 4 saat ders süresi bütün bu eğitim süreci için yeterli gelmekte ve zaman yönetimi oldukça verimli olarak kullanılabilir.

Pandemi döneminde acil uzaktan eğitime geçilmesi, her derste olduğu gibi etkileşimli anlatım yapılarak yürütülen Teknik Resim ve Tasarı Geometri dersinin öğretim yönteminde de değişiklikler yapılmasını gerektirmiştir.

Eğitim sürecindeki en önemli değişiklik ders sürelerinde yapılmıştır. Örgün eğitimde haftada 4 saat olarak işlenen ders süresi, uzaktan eğitimde 45'er dakikalık 2 parça halinde toplam 1,5 saate düşürülmüştür. Gerektiğinde eğitimcilere süre uzatımı konusunda yetki verilmekle birlikte dersler en fazla 2 saate kadar uzatılabilir. Eğitim sürelerindeki yarı yarıya azalma oldukça önemli bir farklılıktır.

Sınıf mevcudunun yüksek olması ve her öğrencinin uygulamalarının değerlendirilmesi gerekliliği, zaman yönetimi konusunda zorlayıcı bir faktör olmuştur. Sınıf içi uygulama yapılması yöntemi, süre kısıtlılığı nedeniyle uzaktan eğitim sürecinde askıya alınmış, dersler genellikle ödev kontrolü, konu anlatımı ve yeni ödevin tanıtılması şeklinde yürütülmüştür.

Ödev kontrolü aşamasında eğitmen, öğrencilerin çizdiği ödevleri kontrol etmeye başlamadan önce kendi çizimi üzerinden ödevin nasıl olması gerektiğini anlatmış ve öğrencilerin bir yandan da kendi çizimlerini kontrol etmeleri istenmiştir. Eğitmen çizimi üzerinden anlatım tamamlandıktan sonra hızlı bir şekilde öğrencilerin ödevleri kontrol edilmiş, öğrencilerden hata yaptıkları yerleri belirtmeleri istenmiştir. İncelenen ödevin tüm öğrenciler tarafından takip edilebilmesi, hataların daha kolay fark edilebilmesini sağlamıştır (Şekil 1).

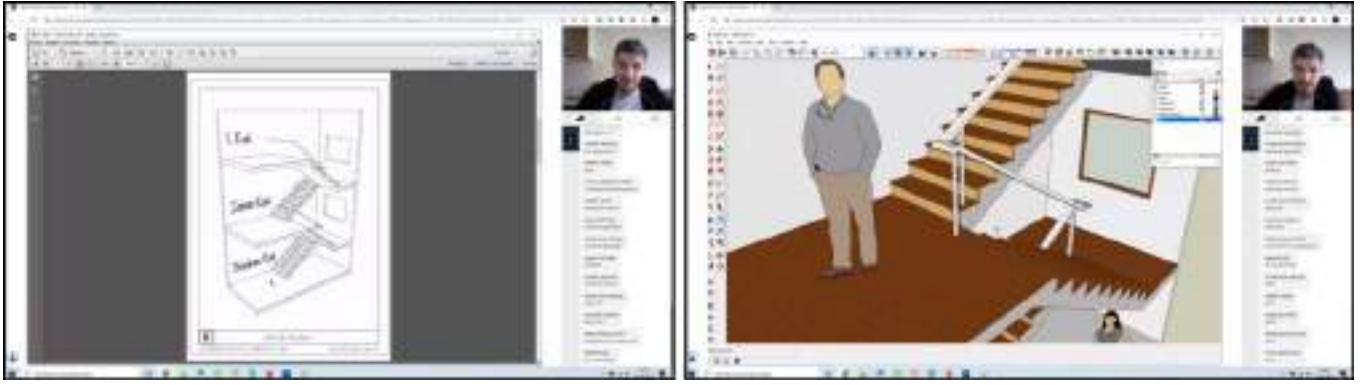


Şekil 1. Ödev kontrolü aşamasından ekran görüntüleri

İlk 45 dakikalık süre tamamlandığında genellikle ödev kontrolü aşaması da tamamlanarak yeni konunun anlatımı için 15 dakikalık bir ara verilmiştir. Ara esnasında soruları öğrenciler dinlenerek soruları yanıtlanmıştır.

İkinci 45 dakikalık sürede ise konu anlatımına başlanmıştır. Bu aşamada ilgili dersin konusu dijital föyler, slaytlar, iki ve üç

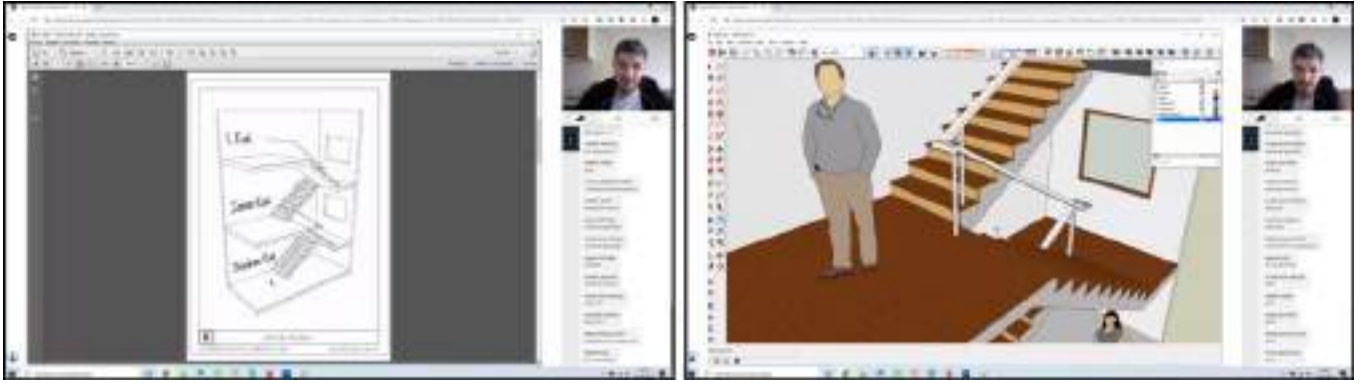
boyutlu çizimler yardımıyla anlatılmıştır (Şekil 2). Anlatılan konunun içeriğine göre ders materyalleri ve ders esnasında yapılan çizimler öğrencilerle paylaşılarak, ders saatleri dışında çevrimdışı olarak da kullanılabilirliği sağlanmıştır.



Şekil 2. Konu anlatımı aşamasından ekran görüntüleri

Örgün eğitimde tahtada elle yapılan çizimlerin yerini uzaktan eğitimde iki ve üçboyutlu çizim programlarıyla eşzamanlı olarak yapılan çizimler almıştır. Kullanılan yazılımların kalem kalınlığı, çizgi rengi, tipi, malzeme ve doku

ifadesi gibi grafik anlatım olanakları, dersin takip edilebilmesini kolaylaştırmış ve anlaşılabilirliğini olumlu yönde etkilemiştir (Şekil 3)



Şekil 3. Çizerek anlatım aşamasından ekran görüntüleri

Konu anlatımı esnasında öğrencilerin derse aktif katılımlarının sağlanabilmesinde, uzaktan eğitim yazılımının yazışma ekranı yardımcı olmuştur. Öğrenciler konu anlatımını kesintiye uğratmadan sorularını ekrana yazmış ve eğitimciden yanıt alabilmişlerdir.

Dönem boyunca uzaktan yürütülen bütün dersler, uzaktan eğitim yazılımının veri tabanında dijital olarak kayıt altına alınmıştır. Bu durum hem eşzamanlı derse katılmayan öğrenciler için, hem de tekrar yapmak isteyen öğrenciler için faydalı bir uygulama olmuştur. Ders esnasında yapılan bütün anlatımlar, dijital kayıt aracılığıyla canlı dersten sonra da çevrimdışı olarak izlenebilmiş ve tekrar edilebilmiştir.

4. Yöntem

4.1. Araştırmanın Evren ve Örneklemi

Araştırma evrenini Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi İç Mimarlık Bölümünde 2019-2020 Eğitim Öğretim Dönemi Bahar Yarıyılında yürütülen *ICM 120 Teknik Resim ve Tasarı Geometri 2* dersine kayıtlı 64 öğrenci oluşturmaktadır. İlgili dönemde bu derse kayıt olmuş ve eğitim süreci içerisinde yer almış bütün öğrencilere ulaşılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Derse kayıtlı olan, ancak teknolojik olanaklarının (donanım, yazılım, internet bağlantısı vs.) yetersiz olmasından dolayı derse hiçbir şekilde katılmayan 5 öğrenci

çıkarıldıktan sonra kalan 59 öğrenci araştırmanın örneklemini olarak belirlenmiştir.

4.2. Verilerin Toplanması ve Analizi

Araştırma verileri *Google Forms* yazılımı ile hazırlanan çevrimiçi anket formu ile toplanmıştır. Araştırma için hazırlanan anket 5 bölümden oluşmakta ve her bölümde farklı nitelikte veriler elde edilmektedir. Bunlar sırasıyla; demografik veriler, katılım verileri, değerlendirme verileri, karşılaştırma verileri ve düşünce-öneri verileridir.

Demografik verilerde öğrencilerin cinsiyet, yaş ve uzaktan eğitim sürecinde bulunulan yerleşim yeri bilgileri yer almaktadır. Uzaktan eğitimde kullanılan cihaz, ders esnasında bulunulan mekân, eşzamanlı ve eşzamansız katılım durumları, bağlantı ve yazılım kullanımı konusunda yaşanan sorunlar *katılım verileri* başlığı altında toplanmıştır. *Değerlendirme verileri* başlığında araştırma için hazırlanan 15 maddelik *Uzaktan Eğitim Değerlendirme Ölçeğine* yer verilmiştir. Öğrencilerin eğitim sürecinde belirlenen kriterler için hangi öğretim yöntemini tercih edeceklerinin bilgisi *karşılaştırma verileri* başlığında toplanmıştır. *Öneri verileri* başlığında ise Bölüme yeni katılacak öğrencilerin bu derse hangi yöntemle almalarının daha uygun olacağı hakkındaki görüşleri alınmıştır.

4.3. Araştırmanın Güvenilirlik Analizi

Araştırmanın *Değerlendirme* verilerinin toplandığı bölümde 15 maddelik bir ölçek hazırlanmıştır. 5'li Likert tipinde derecelendirilen maddelerde seçenekler “Kesinlikle katılmıyorum”, “Katılmıyorum”, “Kararsızım”, “Katılıyorum” ve “Kesinlikle katılıyorum” şeklindedir. Hazırlanan bu ölçeğin güvenilirlik ölçümü yapılarak ters puanlanan madde olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ölçekte ters puanlanmış ve güvenilirliği etkileyeceği için düzeltilmesi gereken bir madde bulunmamaktadır.

Kılıç (2016)'a göre güvenilirlik, bir ölçme aracıyla aynı koşullarda tekrarlanan ölçümlerde elde edilen ölçüm değerlerinin kararlılığının bir göstergesidir (Kılıç, 2016, s.47). Ölçek güvenilirliği için genel kabulün Cronbach alpha değerinin 0.7 ve üzeri olmasıyla birlikte, literatürde yer alan bazı sınıflandırmalara göre ise Cronbach alpha değerinin 0.61 ile 0.8 arasında orta güvenilirlikli, 0.81 ile 1 arasında ise yüksek güvenilirlikli olduğunu söylemek mümkündür (Özdamar, 2002; Kılıç, 2016, s.48).

Araştırmada kapsamında hazırlanan ölçeğin güvenilirliği SPSS 22.0 ile analiz edilmiş ve Cronbach alpha değeri 0,854 olarak tespit edilmiştir. Cronbach alpha değerine göre ölçeğin yüksek güvenilirlikte olduğu söylenebilir.

4.4. Araştırmanın Bulguları

4.4.1. Katılımcıların Demografik Özellikleri ve Katılımlarına Ait Bulgular

Tablo 2’de katılımcıların demografik özellikleri ve katılımlarına ait bulgular yer almaktadır. Tabloda verilen bulgular incelendiğinde katılımcıların özellikleri şu şekildedir:

Katılımcıların %83,1’i kadın, %16,9’u ise erkeklerden oluşmaktadır. Katılımcıların yaşları incelendiğinde %79,7’sinin 20 yaş ve altında olduğu, %16,9’unun 21-24, %3,4’ünün ise 25-29 yaşlarında olduğu tespit edilmiştir. Katılımcıların %8,4’ü köyden, %49,2’si ilçeden, %42,4’ü ise ilden bağlantı kurarak uzaktan eğitime katılmışlardır. %79,7’si kendi odasından, %16,9’u ders esnasında aile bireyleriyle aynı odadan, %3,4’ü ise bağımsız bir odadan bağlanarak dersi takip etmişlerdir. Ders takibinde %67,8’i bilgisayar (PC veya Laptop), %27,1’i cep telefonu, %5,1’i ise tablet bilgisayar kullanmışlardır. Katılımcıların tamamı eş zamanlı yöntemle birlikte eş zamansız yöntemi de kullanmış, gerekçe olarak ise %66,1’i eş zamanlı olarak derslere katılmadığını, %33,9’u ise dersleri tekrar etme amaçlı olarak kullandığını belirtmiştir. Uzaktan eğitim sürecinde katılımcıların %66,1’i bağlantıda, %40,7’si ise yazılım kullanımında sorun yaşadıklarını ifade etmişlerdir. Bağlantı konusunda %33,9’u, yazılım kullanımı konusunda ise %59,3’ü herhangi bir sorun yaşamamışlardır.

Tablo 2. Katılımcıların Demografik Özellikleri ve Katılım Verileri (n=59)

Yaş	F	%	Kullanılan Platform	F	%
17-20	47	79,7	Cep telefonu	16	27,1
21-24	10	16,9	Tablet	3	5,1
25-29	2	3,4	PC / Laptop	40	67,8
<i>Toplam</i>	<i>59</i>	<i>100</i>	<i>Toplam</i>	<i>59</i>	<i>100</i>
Cinsiyet	F	%	Eş zamansız Yöntemi Tercih Nedeni	F	%
Kadın	49	83,1	Eş zamanlı katılamama	39	66,1
Erkek	10	16,9	Ders tekrarı	20	33,9
<i>Toplam</i>	<i>59</i>	<i>100</i>	<i>Toplam</i>	<i>59</i>	<i>100</i>
Katılınan Yerleşim Yeri	F	%	Bulunulan Mekan	F	%
Köy	5	8,4	Kendi odam	47	79,7
İlçe	29	49,2	Bağımsız oda	2	3,4
İl	25	42,4	Ailemin de bulunduğu oda	10	16,9
<i>Toplam</i>	<i>59</i>	<i>100</i>	<i>Toplam</i>	<i>59</i>	<i>100</i>
Bağlantı Sorunu Yaşandı mı?	F	%	Yazılım Kullanımı Sorunu Yaşandı mı?	F	%
Evet	39	66,1	Evet	24	40,7
Hayır	20	33,9	Hayır	35	59,3
<i>Toplam</i>	<i>59</i>	<i>100</i>	<i>Toplam</i>	<i>59</i>	<i>100</i>

F: Frekans, %: Yüzdelerik değer

4.4.2. Uzaktan Eğitim Değerlendirme Ölçeği Puanları

Tablo 3’te katılımcıların Teknik Resim dersinde izlenen uzaktan öğretim yöntemini değerlendirme ölçeğinin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. Ölçeğin genel ortalaması 4,23 olarak tespit edilmiştir.

Katılımcıların Teknik Resim dersinde izlenen uzaktan öğretim yöntemini değerlendirmelerine ilişkin ifadelerin ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamaya sahip olan ifade “Konuların görsel kaynaklarla ve 3 boyutlu olarak desteklenmesi öğrenmeyi kolaylaştırdı (4,67)” iken, en düşük ortalamaya ise “Ödevler kolaylıkla yapılabilirdi (2,76)” ifadesine aittir. Bununla birlikte “Sorularına anlaşılır yanıtlar alabildim

(4,66)”, “Eğitimcinin konu anlatımı kolay anlaşılırdı (4,49)”, “Föylerin dijital ortamda paylaşılması avantajlıydı (4,47)” gibi ifadeler de oldukça yüksek ortalamaya sahiptir.

Bu sonuçlara göre öğrencilerin Teknik Resim dersinde izlenen uzaktan öğretim yöntemini olumlu olarak değerlendirdikleri söylenebilir.

Tablo 3. Uzaktan Eğitim Değerlendirme Ölçeği Puanları

Uzaktan Eğitim Değerlendirme İfadeleri	Ort.	ss.	Genel Ort.	ss.
1. Föylerin dijital ortamda paylaşılması avantajlıydı.	4,47	,94	4,23	1,06
2. Derslerin işlenmesi zevклиydi.	3,92	1,38		
3. Ders süreleri yeterliydi.	4,14	1,01		
4. Ders süresi bitiminde ek süre ile uzatılması olumluydu.	4,02	1,28		
5. Ödev verilmesi olumluydu.	4,24	1,07		
6. Ödevler kolaylıkla yapılabilirdi.	2,76	1,28		
7. Ödevlerin değerlendirilmesi yeterliydi.	4,39	,87		
8. Ödev değerlendirmelerinde hatalarımı görüp öğrenebildim.	4,44	,99		
9. Eğitimcinin konu anlatımı kolay anlaşılırdı.	4,49	1,02		
10. Eğitimcinin konu anlatımı yeterince açıktı.	4,46	1,04		
11. Ders esnasında anlamadığım yerleri sorabildim.	4,45	,93		
12. Sorularına anlaşılır yanıtlar alabildim.	4,66	,88		
13. Eğitimcinin ders anlatımı kesintiye uğramadı.	4,07	1,11		
14. Konuların farklı programlarla desteklenerek anlatılması, ders takibini kolaylaştırdı.	4,22	1,17		
15. Konuların görsel kaynaklarla ve 3 boyutlu olarak desteklenmesi öğrenmemi kolaylaştırdı.	4,67	,90		

Ort: Ortalama, ss: Standart Sapma

4.4.3. Katılımcıların Yöntemler Arası Tercih Dağılımları

Tablo 4’te katılımcıların Teknik Resim eğitiminde izlenen yöntemler arasındaki tercih dağılımlarına ait frekans yüzdeleri yer almaktadır. Katılımcılar eğitime katıldıkları ortamın uygunluğu, konunun anlaşılabilirliği, derslerin ilgi çekiciliği, derslerin akıcılığı ve ders esnasında eğitimciyle aynı ortamı paylaşma bakımından ağırlıklı olarak stüdyo yöntemini tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Bununla birlikte eğitimcinin konu

anlatımı, eğitimcinin soru-cevap uygulaması, ders esnasında eğitimciye soru sorabilme, ders sürelerinin yeterliliği ve ödevlerin değerlendirilmesi konularında her iki yöntemi de tercih etmişlerdir. Teknik Resim eğitimi özelinde geleneksel stüdyo yöntemi ve uzaktan öğretim yöntemleri kıyaslandığında, hiçbir koşulda uzaktan öğretim yönteminin öne çıkması oldukça dikkat çekicidir.

Tablo 4. Yöntemler Arası Tercih Dağılımları

Tercih Kriterleri	Stüdyo Yöntemi		Uzaktan Öğretim Yöntemi		Her iki yöntem de	
	F	%	F	%	F	%
1. Eğitime katıldığımız ortamın uygunluğu	37	62,7	6	10,2	16	27,1
2. Eğitimcinin konu anlatımı	25	42,4	2	3,4	32	54,2
3. Konunun anlaşılabilirliği	37	62,7	2	3,4	20	33,9
4. Derslerin ilgi çekiciliği	39	66,1	2	3,4	18	30,5
5. Eğitimcinin soru-cevap uygulaması	26	44,1	4	6,8	29	49,1
6. Ders esnasında eğitimciye soru sorabilme	27	45,8	4	6,8	28	47,4
7. Derslerin akıcılığı	41	69,5	2	3,4	16	27,1
8. Ders sürelerinin yeterliliği	27	45,8	2	3,4	30	50,8
9. Ders esnasında eğitimciyle aynı ortamı paylaşma	43	72,9	1	1,7	15	25,4
10. Ödevlerin değerlendirilmesi	26	44,1	4	6,8	29	49,1

F: Frekans, %: Yüzdelerlik değer

4.4.4. Katılımcıların Geleceğe Yönelik Yöntem Önerilerinin Dağılımları

Tablo 5'te, katılımcıların Bölüme yeni katılacak öğrencilerin Teknik Resim dersini hangi yöntemle almalarına yönelik önerilerine ait frekans değerleri yer almaktadır. Katılımcılardan Güz döneminde uygulanan stüdyo yöntemi ile Bahar döneminde

uygulanan uzaktan öğretim yöntemini kıyaslayarak öneride bulunmaları istenmiştir. Her iki öğretim yönteminin de olumlu ve olumsuz yönleri dikkate alındığında, katılımcıların büyük çoğunluğunun (%86,45) stüdyo yöntemini önerdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 5. Geleceğe Yönelik Yöntem Önerilerinin Dağılımı (n=59)

Öneriler	Stüdyo Yöntemi		Uzaktan Öğretim Yöntemi	
	F	%	F	%
Bölüme yeni katılacak öğrenciler Teknik Resim dersini hangi yöntemle almalılar?	51	%86,45	8	%13,55

F: Frekans, %: Yüzdeler değeri

5. Sonuç

Covid 19 pandemisi sürecinde her alanda olduğu gibi, eğitim alanında da kısıtlamalara gidilmiş ve üniversitelerde örgün eğitimin yüz yüze yapılmasına ara verilerek uzaktan eğitime geçiş yapılmıştır. Çalışma kapsamında süreç içerisinde hem yüz yüze hem de uzaktan öğretim yöntemini deneyimleyen öğrencilerin öğretim yöntemleri hakkında karşılaştırmalı geri bildirimlerini almak amaçlanmıştır.

Özellikle çalışmada uygulanan *Uzaktan Eğitim Değerlendirme Ölçeği*'nde elde edilen sonuçlara göre öğrencilerin Teknik Resim dersinde izlenen uzaktan öğretim yöntemini olumlu olarak değerlendirdiği, buna rağmen stüdyo yöntemi ile karşılaştırma yapmaları gerektiğinde baskın olarak stüdyo yöntemini tercih ettikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmada katılımcılara yöneltilen sorulara alınan yanıtlara göre Teknik Resim dersinde uygulanan uzaktan eğitimin olumlu yönlerini:

- Derslerin kayıt altına alınması, böylece çevrimiçi derslerin kaçırılması durumunda veya ders tekrarı amacıyla yeniden izlenebilmesi,
- Herhangi bir işte çalışmak zorunda olan öğrencilerin, çalışma saatlerine göre dersleri çevrimdışı takip edebilmeleri, böylece eğitimlerinin aksamaması,
- Öğrenme gücüyle yaşayan öğrencilerin, kendilerine göre günün en verimli zamanlarında eğitim alabilmeleri,
- Stüdyoya gelirken ve stüdyo çıkışında eve giderken vakit kaybının ortadan kaldırılarak, zamanın daha verimli kullanılabilmesi,
- Derslerin ev / aile ortamında ve kişisel konfor alanlarında takip edilebilmesi,
- Föylerin / ders notlarının dijital olarak öğrencilerle paylaşılması,
- Eğitmenin uygulamaları kontrol ederken her öğrencinin izleyebilmesi, böylece çizim hatalarının ve çözümlerinin daha kolay öğrenilebilmesi,
- Hatalı çizimlerin düzeltilmesi aşamasında kayıtların yeniden izlenerek unutulmuş, gözden kaçırılan veya anlaşılmayan her detayın fark edilebilmesi,

- Ders anlatımının bilgisayar destekli yazılımlarla desteklenerek anlaşılması zor olan konularda öğrenmenin kolaylaştırılması şeklinde özetlemek mümkündür.

Bununla birlikte katılımcılardan alınan geri bildirimlere göre; stüdyo ortamında ders almanın değerini daha iyi anlamalarına yardımcı olması ve eğitimin yarıda bırakılmadan kaldığı yerden devam edebilmelerini sağlaması da uzaktan öğretim yönteminin avantajları arasında gösterilebilir.

Diğer taraftan uzaktan öğretim yönteminin öğrencilere sağladığı faydaların yanı sıra, bazı yönleriyle de zorlayıcı nitelikte olduğu gözlenmiştir. Özellikle bağlantı ve donanım yetersizliği bulunan öğrencilerin derslere aktif katılım sağlayamaması veya hiç katılmaması uzaktan öğretim yönteminin en olumsuz yönlerinin başında gelmektedir.

Bununla birlikte Teknik Resim dersinde uygulanan uzaktan eğitimin diğer olumsuz yönlerini:

- Canlı derslere katılımda kaliteli bir ders süreci için yüksek kaliteli internet bağlantısı gereksiniminin olması,
- Canlı derslerin katılımda elektrik kesintisi yaşanması durumunda ilgili dersin kaçırılması,
- Tekrar izleme olanağının derse devamlılığı aksatması,
- Ev / aile ortamının her öğrenci için uygun olmaması nedeniyle canlı ders katılımını aksatması,
- Ev / aile ortamında çizim uygulamaları için yeterli olanağı bulunmayan öğrencilerin ödev yaparken zorlanması
- Kişisel konfor alanlarının derse odaklanmayı zorlaştırması,
- Her ne kadar kullanılan yazılımlarda yazışma ekranı bulunsu dahi, bazı öğrencilerin soru sorarak derse katılma konusunda yeterli motivasyona ulaşamaması,
- Stüdyo yönteminde eğitime daha rahat soru sorulup, hızlı bir şekilde yanıt alınabilirken, uzaktan eğitimde soru sorabilmek için kamera bağlantısına veya çizimin fotoğrafının çekilmesine ihtiyaç duyulması,
- Ders işlendikten hemen sonra uygulama yapılmaması,
- Uygulama yapılmadığı için ödevlerin hafifletilememesi,
- Uygulama yapılmadığı için hataların ödev inceleme aşamasına kadar anlaşılabilmesi şeklinde özetlemek mümkündür.

Olumlu ve olumsuz yönleriyle birlikte değerlendirildiğinde uzaktan öğretim yönteminin Teknik Resim dersindeki öğrenme etkinliğini destekleyici niteliğinin yadsınmaz bir gerçek olduğu söylenebilir. Yapılan araştırmaya konu olan dönemde verilen uzaktan eğitimdeki süre kısıtlaması, katılımcıların olumsuz yön olarak değerlendirdiği “uygulama yapamama” probleminin etkin sebeplerindedir. İlerleyen dönemlerde Teknik Resim dersi için ayrılan eğitim süresinin, örgün eğitim ile eşdeğer hale getirilmesi ile bu problem ortadan kaldırılabilecektir.

Ancak ders süresinin uzatılmasıyla birlikte canlı derse katılım için gereken internet kota miktarının artması, bir problemi çözerken bir başka problemi beraberinde getirecektir. Bu nedenle pandemi şartlarının gevşemesiyle birlikte salgının seyrine bağlı olarak Teknik Resim dersi özelinde özel bir yöntem uygulanması uygun olacaktır. *Hibrit yöntem* olarak da adlandırılabilir bu yöntemle; derslerin teorik anlatım kısmının kayıt altına alınarak uzaktan öğretim yönteminin, uygulama yapılarak ve fiziksel stüdyo katılımını deneyimleyerek stüdyo yönteminin olumlu yönlerinin birleştirilebileceği karma bir öğretim yöntemiyle derste motivasyon, başarı ve öğrenme düzeyinin artırılabilirliği öngörülmektedir.

Kaynakça

- Ahmad, L., Sosa, M., Musfy, K. (2020). Interior Design Teaching Methodology During the Global COVID-19 Pandemic. *Interiority*, 3 (2), 163-184.
- AL-ayash, A., Hussein, M. F. (2020). Distance education technology tools in interior design During COVID-19 Pandemic (UOP&UOG students as a case study). *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, 17 (7), 13184-13202.
- Aristovnik, A., Keržič, D., Ravšelj, D., Tomaževič, N., Umek, L. (2020). Impacts of the COVID-19 pandemic on life of higher education students: A global perspective. *Sustainability*, 12 (20), 8438-8472.
- Bingöl, B. (2020). COVID-19 Sürecinde Peyzaj Mimarlığı Öğrencilerinin Acil Uzaktan Öğretim Sistemi Üzerine Görüşleri: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 890-897.
- Bircan, H., Eleroğlu, H., Arslan, R., Ersoy, M. (2018). Cumhuriyet Üniversitesi Öğrencilerinin Uzaktan Eğitimde Sunulan Derslere Yönelik Bakış Açısı. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5 (12), 91-100.
- Demir, Ö. & Narlıkaya, Z. (2020). Covid-19 salgını sürecinde muhasebe ve finans derslerini alan öğrencilerin uzaktan eğitime ilişkin tutumlarının araştırılması. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 7 (60), 2894-2904.
- Dilmaç, S. (2020). Students' opinions about the distance education to art and design courses in the pandemic process. *World Journal of Education*, 10(3), 113-126.
- Eygü, H., Karaman, S. (2015). Uzaktan Eğitim Öğrencilerinin Memnuniyet Algıları Üzerine Bir Araştırma. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3 (1), 36-59.
- Kılıç, S. (2016). Cronbach's alpha reliability coefficient. *Psychiatry and Behavioral Sciences*, 6(1), 47-48.
- Özdamar, K. (2002). *Paket programlarla veri analizi-1*. Eskişehir: Kaan Kitabevi.
- Purbo, O. W., Darmajaya, I. (2020). Online Teaching and Experience Art & Culture During Coronavirus and Beyond. <https://lms.onnocenter.or.id/pustaka/docs/art/OWP-20201003-Experience-art-and-culture-during-covid19-lockdown.pdf> Erişim Tarihi: 20.01.2020.

- Sakarya, K. (2019), İç Mimarlık Eğitimine Yönelik Uzaktan Eğitim Modeli Önerileri, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, cilt 28, sayı 2, s.388-401.
- Sen Ö., Kızılcıoğlu G. (2020). COVID-19 Pandemi Sürecinde Üniversite Öğrencilerinin Ve Akademisyenlerin Uzaktan Öğretime Yönelik Görüşlerinin Belirlenmesi. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*. 4 (3), s.239-252.
- Toquero, C. M. (2020). Challenges and Opportunities for Higher Education Amid the COVID-19 Pandemic: The Philippine Context. *Pedagogical Research*, 5 (4), 1-5.
- Varma, A., Jafri, M. S. (2020). COVID-19 responsive teaching of undergraduate architecture programs in India: learnings for post-pandemic education. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*. 1-14.



Zilan Vadisi'inde Toplanan (Van-Erciş) Yeniden Yabani Mantar (*Chlorophyllum agaricoides*, *Mycenastrum corium* ve *Paxina queletii*) Örneklerindeki Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi

Ahmet Metin Kumlay¹, Mehmet Zeki Koçak^{2*}, Erhan Öztürk³

¹ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9765-8674), akumlay@hotmail.com

^{2*} Iğdır Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Meslek Yüksekokulu Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8368-2478)
mehmetzekikocak@gmail.com

³ Iğdır Üniversitesi, Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4006-2428) erhan.ozturk@igdir.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902988)

ATIF/REFERENCE: Kumlay, A. M., Koçak, M. Z. & Öztürk, E. (2021). Zilan Vadisi'inde Toplanan (Van-Erciş) Yeniden Yabani Mantar (*Chlorophyllum agaricoides*, *Mycenastrum corium* ve *Paxina queletii*) Örneklerindeki Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 291-294.

Öz

Doğal ortamda yetişen yabani, yeniden mantarlar hem tür sayısı bakımından hem de besin değeri açısından önemli bir yere sahiptir. Yeniden mantarların besin değerlerinin yüksek olması yanı sıra insan sağlığında da önemi büyüktür. Fakat mantarlar toprakta ve havadaki birçok ağır metali bünyelerinde toplayabildiklerinden dolayı biyoindikatör olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada Van-Erciş sınırları içerisinde bulunan Zilan Vadisi'inde toplanan *Chlorophyllum agaricoides* (Czern.) Vellinga, *Mycenastrum corium* (Guers.) Desv. ve *Paxina queletii* Bres. mantar örneklerindeki bazı ağır metallerin (Mn, Zn, Fe, Mg, Co, Ni, Cu, Cr) iyon içeriklerini Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) cihazı kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda mantar örnekleri için minimum ve maksimum ağır metal iyon konsantrasyonları tespit edilmiştir. Çalışılmış olan tüm mantar örneklerinde magnezyum (Mg) 1522,1 mg/kg ile 2149,612 mg/kg arasında konsantrasyona sahip en yüksek mineral olarak belirlenmiş olup; farklı oranlarla kobalt (Co) ve demir (Fe) takip etmiştir. Çalışmadaki örneklerde en az miktarda mangan (Mn), nikel (Ni), krom (Cr) bakır (Cu) olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AAS, İyon içerikleri, Zilan Vadisi, Biyoindikatör.

Heavy Metal Content in Wild-Edible Mushrooms (*Chlorophyllum agaricoides*, *Mycenastrum corium* and *Paxina queletii*) Collected from Zilan Valley (Van-Erciş)

Abstract

Wild edible mushrooms grown in the natural environment have an important place in terms of both the number of species and their nutritional value, exhibiting health-promoting properties for human beings. However, mushrooms are used as bio-indicators because they can accumulate many heavy metals in the soil and air. Herewith the study, some heavy metals, viz. Mn, Zn, Fe, Co, Ni, Cu, and Cr were revealed in *Chlorophyllum agaricoides*, *Mycenastrum corium* and *Paxina queletii*, using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Also, in addition to the heavy metals, Mg content was also determined. Accordingly, minimum and maximum heavy metal concentrations were reported. Of the analyzed metals, magnesium (Mg) was determined to be the highest mineral with a concentration between 1522.1 mg/kg and 2149.612 mg/kg in all studied mushrooms samples.

Keywords: AAS, Ion contents, Zilan Valley, Bio-indicators.

* Sorumlu Yazar: mehmetzekikocak@gmail.com

1. Giriş

Mantarların doğal ortamlarından toplanıp tüketilmeleri; onların protein, vitamin (B grubuna ait vb.), lif, mineral, aminoasit, doymamış yağ asitleri ve çeşitli aromatik maddeler bakımından zengin besin kaynağı olmalarındandır (Orsine ve ark., 2012; Valverde ve ark., 2015; Demirel ve Koçak, 2016; Akın ve ark., 2019; Işık ve ark., 2021). Ayrıca mantarlar yağ oranının düşük, protein ve lif açısından zengin olması, insanlar için önemli bir diyet besin kaynağı olduğu söylenebilir (Ergönül et al., 2013; Işık ve ark., 2021). Mantarların yapılarında bulunan birçok aktif bileşik ve farklı özellikteki etken maddeler sayesinde antiinflamatuar, antitümör, antibakteriyel, antiviral ve antioksidan olarak kullanılmaktadırlar (Ngai and Ng, 2004; Ita ve ark., 2006; Barros et al., 2007; Nowacka et al., 2014). Genellikle ağır metaller 5 g/cm³ 'den daha yüksek özgül yoğunluğu olan çevre ve canlı organizmaların yaşamını olumsuz etkileyen biyoidikatörler olarak tanımlanabilir (Järup, 2003; Andráš et al., 2012).

Doğadan toplanan mantarlar birçok ülkede önemli bir besin kaynağı olarak toplanması ve tüketilmesi önemli bir alternatif besin kaynağı olmuştur; Fakat yapılan bir çok araştırma sonucunda yabancı mantarların yapısında biriktirmiş olduğu ağır metal oranı diğer yenilebilir bitkilerden daha fazla olduğunu göstermiştir (Semreen and Aboul-Enein, 2011; Liu et al., 2015). İnsan sağlığının korunması için gerekli olan ve biyolojik öneme sahip demir (Fe) ve çinko (Zn) gibi ağır metaller vardır. Fakat bazı ağır metallerin yüksek miktarlarda toksik etkilere sahip olmaları canlı organizmalara zarar vermektedir (Demirbaş, 2001; Chenet al., 2009; Liu et al., 2015).

Mantarların önemli bir besin kaynağı olmasının yanı sıra, doğal ortamda organik madde yıkımında rol oynamaktadırlar (Sevindik ve ark., 2016). Ayrıca mantarların ayrıştırıcı ve geri dönüştürücü olmalarından dolayı "Mikoremediasyon" terimini ortaya çıkarmıştır (Kulshreshtha 2014; Rhodes, 2014; Ürünay, 2015).

Bu çalışmadaki temel amaç Van il sınırları içerisinde bulunan Zilan Vadisinde farklı lokalitelerde tespit edilen, doğal olarak

yetişen ve yenen *C. agaricoides*, *M. corium* ve *P. queletii* mantar örneklerindeki ağır metal iyon içeriklerini tespit ederek; ülkemizde bu alanda yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması ve mantarların kimyasal yapısını belirlemeye yönelik yapılan araştırmalara katkıda bulunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan mantar örnekleri 2013-2014 yılları arasında Van il sınırları içerisinde bulunan Zilan Vadisinin farklı lokalitelerinde yapılan arazi çalışmaları sırasında toplanmıştır. Mantar örneklerinin bazı özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Arazide mantar örneklere ait morfolojik bilgileri, habitat, rakım, GPS koordinatları ve çekilen fotoğraf numaraları kayıt altına alınmıştır. Daha sonra uygun bir alet ile subsrattan veya topraktan morfolojik yapılarına zarar verilmeden laboratuvar ortamına getirilen örnekler kaba kirlerinden temizlenip bir ısıtıcı yardımıyla nemi kaybettirilerek kurutulmuştur. Mantar örnekleri kurutulduktan sonra ışık mikroskobu (DM 1000 görüntüleme sistemi) yardımıyla incelenip uygun literatür ile teşhisleri yapılarak kayıt altına alınmıştır (Breitenbach & Kränzlin, 1991, 1995; Buczacki, 1992; Jordan, 1995). Mantarlara ait latince isimleri, GPS koordinatları, toplandığı yer, toplama tarihi, familya ve rakım(m) (Tablo 1)'de verilmiştir.

Agilent marka 240FS model Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) cihazında yapılacak analizler için mantar örnekleri ağız havan yardımıyla toz haline getirilen mantar örnekleri Milestone marka Ethos One model mikrodalganın teflon hücreleri içerisine yaklaşık olarak 1-1,5'gr numune alındıktan sonra katı numune üzerine 6 mL nitrik asit (HNO₃) ve 2 mL hidrojen peroksit (H₂O₂) ilave edilip içerisindeki gaz çıkışının tamamen uzaklaşması için çeker ocak içerisinde 10 dk bekletildikten sonra teflon hücreler kapatılarak, 1800 watt 250 °C'de 40 dk mikrodalgada yakma işlemi yapılmıştır. Teflon aparatlar soğutulduktan sonra toplam hacim 25 ml'ye saf su ilave edilerek tamamlanmıştır. Yapılan ölçümler ile mantar örneklerinde toplamda 8 ağır metalin (Mn, Zn, Fe, Mg, Co, Ni, Cu, Cr) miktarları mg/kg olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Yenen yabancı mantar örnekleri A) *P. queletii*, B) *C. agaricoides* ve C) *M. corium*

Tablo 1. Çalışmada kullanılan mantar örnekleri ve bazı özellikleri

Mantar örnekleri	Familiya	Rakım(m)	GPS koordinatlar	Toplandığı yer	Toplama tarihi
<i>Paxina queletii</i> (Bres.) Stangl	Helvellaceae	1860	39° 13'780"K, 43°23'560"D	Zilan Vadisi (Erciş- Van-Türkiye)	2013-2014
<i>Chlorophyllum agaricoides</i> (Czern.) Vellinga	Agaricaceae	1805	39°09'991"K, 43° 19'614"D	Zilan Vadisi (Erciş- Van-Türkiye)	2013-2014
<i>Mycenastrum corium</i> (Guers.) Desv.	Agaricaceae	1835	39°13'793"K, 43° 23'575"D	Zilan Vadisi (Erciş- Van-Türkiye)	2013-2014

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Doğal ortamlarından toplanan mantar örneklerine ait ağır metal konsantrasyon sonuçları Tablo 2'de gösterilmiş olup; yapılan analiz sonucu örnekler için farklı miktarda sekiz çeşit ağır metal (Mn, Zn, Fe, Mg, Co, Ni, Cu, Cr) tespit edilmiştir. Kullanılan mantar örneklerindeki metal konsantrasyonları arasında tespit edilen en fazla Mg (1522,1-2149,612 mg/kg) olurken en az olan metal iyonu ise Ni (17,92636-27,325 mg/kg) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tespit edilen diğer metal iyonları ise Zn (107,478-465,5523 mg/kg), Fe (26,3663-156,4922 mg/kg), Co (389,2216-531,4922 mg/kg), Cu (93,4803-52,81008 mg/kg), Cr (44,05475-69,28295 mg/kg) olarak belirlenmiştir.

Çalışmada miktar olarak en fazla tespit edilen Magnezyum (Mg) insan vücudunda fonksiyonel sistemlerde önemli roller oynayan temel bir elementtir. İnsan vücudundaki biyolojik sistemlerde üç önemli rolü vardır I: kalsiyumun biyolojik rakibi olmasının yanısıra hücrel membranlara ve proteinlere bağlanmasında ona engel olur. II: Enerjinin taşınması, depolanması ve kullanımı ile ilgili 300'den fazla temel enzimatik reaksiyonda temel bir faktördür. III: Elektrolitlerin ve diğer maddelerin hücrel zarlardan geçişini düzenler (Tzanakis and Oreopoulos, 2009). Uzun ve ark. (2011) tarafından Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) cihazını kullanarak

Chlorophyllum agaricoides' in biriktirmiş olduğu ağır metalleri belirlemek için yaptıkları analizlerde miktarı en fazla olan element K (16660 mg/kg) ve Mg (875 mg/kg) ölçülmüştür ve bunları da Ca Fe Zn Cd Cu Mn Ni Pb metaller takip etmiştir. Çalışmamızda ise Mg (1522,1-2149,612 mg/kg) en fazla tespit edilmiştir. Borovička et al., (2006) *Mycenastrum corium* mantar örneğinde yapmış oldukları analizde Antimon (Antimony) (Sb) elementin kuru ağırlığında (27.0 mg/kg) olarak ölçülmüştür. Çalışmada kullanmış olduğumuz *Paxina queletii* (*Helvella queletii*-eski adı) mantar türü ile alakalı ağır metal analiz çalışmaları literatürde bulunmamasından dolayı bu türe yakın olan *Helvella leucopus* ve *Dissingia leucomelaena* (*Helvella leucomelaena*-eski adı) mantar türleri ile yapılmış ağır metal analiz çalışmaları mevcuttur. Wang et al., (2017) tarafından yapılan çalışmada *Helvella leucopus* mantar örneğinde Zn iyonu (354 mg/kg) olarak tespit etmişlerdir. Sevindik ve ark., (2015) yapmış oldukları çalışmalarında *Dissingia leucomelaena* ait (Zn, Fe, Mn, Cu, Pb, Cr, Ni, Co,) gibi ağır metal analiz sonucunda en fazla orana sahip Fe (319.2±29.6 mg/kg) olurken en düşük oran ise Ni (2.1±0.6 mg/kg) olarak tespit etmişlerdir. Yenen yabancı mantarlar doğal ortamdan toplandıktan sonra besin olarak kullanıldığında yapılarında biriktirdikleri ağır metallerde besin zincirine katılarak ve biyolojik birikime önemli oranda katkı sağlamaktadırlar. Mantarlarda biriken ağır metal oranı yetiştiği ortamın özellikleri, mantarın morfolojik özellikleri ve mikorizal veya saprofit olarak beslenmesi etki göstermektedir (Ángeles García ve ark., 2009; Kalač 2009).

Tablo 2. Mantar örneklerindeki bazı ağır metal içerikleri (mg/kg)

Örnekler (mg/kg)	<i>Chlorophyllum agaricoides</i>	<i>Mycenastrum corium</i>	<i>Paxina queletii</i>
Mn	45,76561	23,0105	28,58527
Zn	106,9718	107,478	465,5523
Fe	37,21129	26,3663	156,4922
Mg	1937,553	1522,1	2149,612
Co	389,2216	498,562	531,4922
Ni	23,52438	27,325	17,92636
Cu	76,98888	93,4803	52,81008
Cr	44,05475	49,8562	69,28295

4. Sonuç

Doğada yetişen mantarlar genellikle kullandıkları ve yetiştikleri substratlara bağlı olarak yapılarında ve bağlı buldukları ortamda element içeriğinin değişimine neden olmaktadır. Özellikle mantarların metal içeriklerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar, mantarların çevre kirliliği açısından biyoidikatör olarak kabul edilebileceğini göstermektedir (Akın ve ark., 2019; Işık ve ark., 2021). Mantarlar düşük konsantrasyonlarda toksisiteleri ile bilinmektedirler; fakat yenilmelerinden kaynaklanan insan sağlığına olası tehlikeler de değerlendirmeler için çaba harcanmıştır (Demirbaş, 2000).

Çalışmada Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) cihazı kullanılarak *Chlorophyllum agaricoides*, *Mycenastrum corium* ve *Paxina queletii* mantar örneklerinde 8 metal iyonun (Mn, Zn, Fe, Mg, Co, Ni, Cu, Cr) miktarları mg/kg olarak tespit edilmiştir. Yapılan analizde tüm mantar örneklerinde magnezyum (Mg) 1522,1 mg/kg ile 2149,612 mg/kg arasında konsantrasyona sahip en yüksek mineral olarak belirlenirken; en az olan metal iyonu ise Ni (17,92636-27,325 mg/kg) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2.).

5. Teşekkür

Çalışmada kullanılan mantar örnekleri için yapılan analizlerde yardımlarını esirgemeyen Iğdır Üniversitesi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (ALUM) yöneticileri ve uzman personeline teşekkür ederiz.

Kaynakça

Ángeles García, M., Alonso, J., Melgar, J.M. (2009). Lead in edible mushrooms: Levels and bioaccumulation factors. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 777-783.

András, P., Turisová, I., Krnáč, J., Dirner, V., Voleková-Lalinská, B., Buccheri, G., Jeleň, S. (2012). Hazards of heavy metal contamination at L'ubietová Cu-deposit (Slovakia). *Procedia Environmental Sciences*, 14, 3-21.

Barros, L., Calhelha, R. C., Vaz, J. A., Ferreira, I. C., Baptista, P., Estevinho, L. M. (2007). Antimicrobial activity and bioactive compounds of Portuguese wild edible mushrooms methanolic extracts. *European Food Research and Technology*, 225(2), 151-156.

Borovička, J., Řanda, Z., Jelínek, E. (2006). Antimony content of macrofungi from clean and polluted areas. *Chemosphere*, 64(11), 1837-1844.

Chen, X. H., Zhou, H. B., Qiu, G. Z. (2009). Analysis of several heavy metals in wild edible mushrooms from regions of China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(2), 280.

Demirbaş, A. (2000). Accumulation of heavy metals in some edible mushrooms from Turkey. *Food chemistry*, 68(4), 415-419.

Demirbaş, A. (2001). Heavy metal bioaccumulation by mushrooms from artificially fortified soils. *Food chemistry*, 74(3), 293-301.

Demirel, K., Koçak, M. Z. (2016). Zilan Vadisi'nin (Erciş-VAN) Makrofungus Çeşitliliği. *Mantar Dergisi*, 7(2), 122-134.

Günç Ergönül, P., Akata, I., Kalyoncu, F., Ergönül, B. (2013). Fatty acid compositions of six wild edible mushroom species. *The Scientific World Journal*.

Işık, H., Bengü, A. Ş., Yılmaz, H. Ç., Türkekul, İ. (2021). Tokat'tan toplanan iki yenen doğal mantar (*Pleurotus eryngii* ve *Lepista nuda*) örneklerindeki ağır metal seviyeleri üzerine bir çalışma. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(1), 165-170.

Ita, B.N., Essien, J.P. ve Ebong, G.A. (2006). Heavy metal levels in fruiting bodies of edible and non-edible mushrooms from the Niger Delta Region of Nigeria. *Journal of Agriculture & Social Sciences*, 2(2), 84-87.

Kalač, P. (2009). Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: a review. *Food Chemistry*, 113, 9-16.

Kulshreshtha, S., Mathur, N., Bhatnagar, P. (2014). Mushroom as a product and their role in mycoremediation. *AMB express*, 4(1), 1-7.

Akın, İ., Alkan, S., Kaşık, G. (2019). Çorum İli'nden toplanan *Agaricaceae* familyasına ait bazı mantarlarda ağır metal birikiminin belirlenmesi. *Mantar Dergisi*, 10(1), 48-55.

Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.

Liu, B., Huang, Q., Cai, H., Guo, X., Wang, T., Gui, M. (2015). Study of heavy metal concentrations in wild edible mushrooms in Yunnan Province, China. *Food Chemistry*, 188, 294-300.

Ngai, P. H., Ng, T. B. (2004). A ribonuclease with antimicrobial, antimitogenic and antiproliferative activities from the edible mushroom *Pleurotus sajor-caju*. *Peptides*, 25(1), 11-17.

Nowacka, N., Nowak, R., Drozd, M., Olech, M., Los, R., Malm, A. (2014). Analysis of phenolic constituents, antiradical and antimicrobial activity of edible mushrooms growing wild in Poland. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 689-694.

Orsine, J.V.C., Novaes, M.R.C.G. ve Asquiere, E.R. (2012). Nutritional value of *Agaricus sylvaticus*; mushroom grown in Brazil. *Nutrición Hospitalaria*, 27(2), 449-455.

Rhodes, C. J. (2014). Mycoremediation (bioremediation with fungi)-growing mushrooms to clean the earth. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 26(3), 196-198.

Tzanakis, I. P., Oreopoulos, D. G. (2009). Beneficial effects of magnesium in chronic renal failure: a foe no longer. *International urology and nephrology*, 41(2), 363-371.

Semreen, M. H., Aboul-Enein, H. Y. (2011). Determination of heavy metal content in wild-edible mushroom from Jordan. *Analytical letters*, 44(5), 932-941.

Sevindik, M., Eraslan, C. E., Akgül, H. (2015). Bazı makrofungus türlerinin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi. *Ormancılık Dergisi*, 11(2), 48-53.

Sevindik, M., Akgül, H., Akata, I., Altuntaş, D., Celal, B. A. L., Doğan, M. (2016). *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer. Mantarının Ağır Metal İçeriklerinin ve Oksidatif Stres Durumunun Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(3), 504-508

Uzun, Y., Gencelep, H., Kaya, A., Akçay, M. E. (2011). The mineral contents of some wild edible mushrooms.

Ürünay, D. (2015). İstiridyeye Mantarı: *Pleurotus ostreatus* kullanılarak mikoremediasyon yöntemi ile topraktan ağır metal giderimi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Valverde, M.E., Hernández-Pérez, T. ve ParedesLópez, O. (2015). Edible mushrooms: Improving human health and promoting quality life. *International Journal of Microbiology*, 1-14.

Wang, X., Liu, H., Zhang, J., Li, T., Wang, Y. (2017). Evaluation of heavy metal concentrations of edible wild-grown mushrooms from China. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 52(3), 178-183.



Kentsel Stres Kavramı ve Kentsel Stresi Azaltmak

Tolga Kayacan^{1*}, Ece Özmen²

^{1*} Şehir Plancısı, Dr. (ORCID: 0000-0003-0818-277X), tolga_kayacan@yahoo.com

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Salihi Meslek Yüksek Okulu, Toptan ve Perakende Satış Bölümü, Emlak ve Emlak Yönetimi Programı, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0769-9777), ece.ozmen@cbu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903252)

ATIF/REFERENCE: Kayacan, T., & Özmen, E. (2021). Kentsel Stres Kavramı ve Kentsel Stresi Azaltmak. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 295-305.

Öz

Kentleşme sürecine bağlı oluşan düzensiz yapılaşmaya çözüm aranırken, bir yandan yeni kentlilere yerleşim alanları oluşturulmaya devam etmektedir. Ayrıca yaşanan pandemi süreci ile kentlerdeki düzensiz ve yetersiz yapılaşma koşullarının insan sağlığı üzerine olan etkileri de gündeme gelmiştir. Kentlerin de bir taşıma kapasitesi olduğu düşünüldüğünde hem kentler hem de kentliler üzerinde insan sağlığını etkileyecek düzeyde kentsel stres oluşmaktadır. Kentsel stres kavramı dünyada önemli araştırmalara konu olmakla birlikte, ülkemizde genel olarak stres kavramı kullanılmakta, kentsel stres kavramı olarak değerlendirilmemektedir. Kent yaşantısının bireyler üzerinde yarattığı stresten genel anlamda bahsedilmekte ve bu stresten kurtulabilmek için bireylerin doğa ile daha çok iletişimde olmaları, spor yapmaları gibi yöntemler önerilmektedir. Bu çalışmada dünyada kentsel stres kavramının hangi boyutlarda değerlendirildiği iki farklı araştırma ile incelenerek, Türkiye'nin en stresli kenti olan İstanbul'daki uygulamaların bu değerlendirme boyutlarına göre hangi noktada olduğu değerlendirilmiştir. Çalışmalarda genel olarak kentsel çevreden kaynaklanan faktörler ve ekonomik faktörlerin değerlendirildiği görülmüştür. Bununla birlikte Türkiye'de stresi azaltmak için genel olarak yeşil alan uygulamaları karşımıza çıkmaktadır. Bu da Türkiye'deki uygulamaların yalnızca kentsel çevreden kaynaklı faktörleri azaltabilecek uygulamalar olduğunu göstermektedir. Kentsel stresin bir kavram olarak değerlendirilmemesi, kentsel strese yol açan tüm faktörlerin tespit edilememesi ve bu faktörlere müdahale edilememesi anlamını taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel stres, kentsel stres faktörleri, en stresli kentler, kentsel stresi azaltmak, yeşil alanlar.

Urban Stress and Reducing Urban Stress

Abstract

As searching for a solution for unplanned settlements in urbanization process, new settlements are being formed for new citizens. Furthermore, the effects of unplanned and inadequate housing conditions on human health came up with the current pandemic situation. Considering the cities have a bearing capacity, urban stress is formed on both cities and citizens that will effect the human health. As urban stress term being an important subject for researches in the world, in Turkey, stress is used as a general term. The general stress formed by the daily urban life on individuals is mentioned and in order to get rid of this stress, suggestions like more communication with nature and doing sports are made. In this paper, it will be reviewed in which dimensions is urban stress is interpreted, through 2 different researches, and how can the practices in Istanbul, the most stressful city of Turkey, be considered within these dimensions. It was seen in the mentioned studies, that factors deriving from urban environment and economical factors were taken into consideration. However in Turkey, we encounter mostly green area implementations in order to reduce stress. This shows us the implementations can reduce urban stress factors only deriving from urban environment. Not considering urban stress as a term, causes not being able to determine all factors causing urban stress and not being able to interfere these factors.

Keywords: Urban stress, urban stress factors, the most stressful cities, reducing urban stress, green areas.

* Sorumlu Yazar: tolga_kayacan@yahoo.com

1. Giriş

Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşmeleri Programı Dünya Şehirleri 2020 raporuna göre, yaşanan pandemi süreci ile demografik değişikliğin ne ölçüde olacağı bilinmemesine rağmen uzun vadede Dünya'nın kentleşmeye devam edeceği yönündedir. Aynı raporda günümüzde %56,2 olan kentleşme oranının 2030 yılında %60,4 oranına yükseleceği tahmini yer almaktadır (UN-Habitat, 2020). Dünya genelinde her bölgenin kentleşmeye devam edeceği ön görüşü kentlerde ve yaşam alanlarında yaşanacak değişimin kaçınılmaz olduğunun göstergesi haline gelmektedir.

Kentleşme ile birlikte artacak nüfus yoğunluğu oluşturduğu çevresel etkiler ile kentlerde stresin artmasında başlıca bir rol oynamaktadır. Evans ve Cohen (1987)'e göre kentsel stresin çevresel kaynaklı nedenleri; giderek artan kent nüfusu ile kentlerde yaşayan insanların kendine ait alanlarının azalması, yetersiz güvenlik ve dengesiz ekonomik koşullardır. Koene (2018)'e göre ise kentsel strese yol açan faktörler daha fazladır. Kentsel çevreden kaynaklanan faktörler, sosyal kaynaklı faktörler, kentlerin durumundan kaynaklı faktörler, sağlık kaynaklı faktörler ve ekonomik kentsel faktörlerdir.

Kentsel stres kavramı bir süredir dile getirilse de, literatürde bu konuda yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda kentsel strese yol açan faktörler genel olarak trafik, insan kalabalığı, çalışma ve uyku süreleri şeklinde değerlendirilmiştir. Bu faktörler ile birlikte "dünyanın en stresli

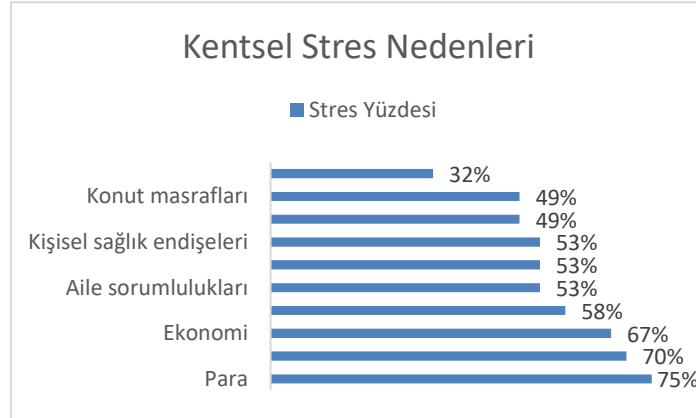
kentleri" listeleri hazırlanmış olup, Türkiye'nin en büyük kenti olan İstanbul'un da bu listede ilk 5 içerisinde yer aldığı görülmüştür.

Yeşil alanların ve doğa ile iletişimin stresi azaltan en önemli faktörler olduğu göz önünde bulundurularak kentlerde yeşil alanların düzenlenmesi stresi azaltmada en yaygın yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. İstanbul'da da bu konuda son dönemlerde atılan önemli adımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada kentsel stres faktörleri ve dünyanın en stresli kentleri incelenmiş olup, listede ilk 5'te yer alan İstanbul'da kentsel stresi azaltmak için neler yapıldığı değerlendirilmiştir.

2. Kentsel Stres Kavramı ve Faktörleri

Stres, 21. yüzyılın en önemli rahatsızlıklarından biri olarak görülmektedir. Tıbbi olarak stres, potansiyel bir tehlikeye karşı vücudun tepki vermesi olarak açıklanabilir. Stresin uzun sürmesi ya da kronik hale gelmesi, ruhsal veya fiziksel rahatsızlık riskini artırmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar ise insanlarda stres seviyelerinin kentlerde daha yüksek olduğunu göstermektedir. Kalabalık ortamlarda gürültü ve kirliliğin yanı sıra, çevrenin birey tarafından daha az kontrol edilebilir hale gelmesi ile, bireylerde stres artmaktadır. Amerikan Psikoloji Derneği (American Psychological Association) verileri ile oluşturulan Şekil 1'e göre kentsel stresin başlıca nedenleri arasında para, iş ve ekonomi gelmektedir. Bunları ilişkiler, ailevi sorumluluklar, ailevi sağlık problemleri ve ferdi sağlık endişeleri şeklinde sıralanmaktadır.

Şekil 1. Kentsel stres nedenleri (Koene, 2018 verileri kullanılarak üretilmiştir.)

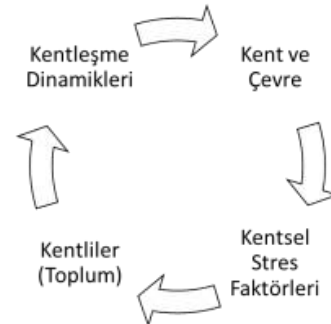


Kentsel stres iki farklı şekilde açıklanabilmektedir. Birincisi insan davranışlarının kent veya çevre üzerinde yarattığı stres olarak tanımlanmaktadır. Örnek olarak kentin kaldırılabileceğinden daha hızlı nüfus artışı, hava kirliliği ve toprak kirliliği verilebilir. İkincisi ise kentsel çevrenin insanlar üzerinde yarattığı strestir. Bu şekilde bir kentsel stres tanımının literatürde bulunması oldukça zor olsa da, kentsel stres çevresel uyarıcılarının kişinin başa çıkabileceğinden fazla olması durumunda ortaya çıkan stres, çevresel fırsatlar ve bireylerin hedefleri arasında ortaya çıkan dengesizlik veya kişinin çevresel talepler ile başa çıkamaması durumunda ortaya çıkan stres şeklinde tanımlanabilir (Koene, 2018).

Kentsel stres, kentleşme dinamiklerinden etkilenen kent ve çevrenin birey ve toplumda oluşturduğu stres faktörleri ile yeniden kentlilerde (toplum) üzerinden oluşturduğu etkilerin yarattığı sonuçtur (Şekil 2). Toplumun hareketliliği de kentleşme dinamiklerine dönüştüğü için bu durum kısır döngü oluşturmaktadır. Bu kısır döngü içerisinde yapılan müdahaleler

kentsel stresin azaltılması ve artırılmasında doğrudan rol oynamaktadır.

Şekil 2. Kentsel Stresin Yarattığı Kısır Döngü



The Guardian gazetesinde yayınlanan bir yazıya göre (Url-1), dünyanın farklı mega kentlerinde kentsel strese yol açan pek

çok ortak faktör bulunmaktadır. Yazıda Kahire, Şangay, Miami ve Mumbai kentleri incelenmiş ve kalabalık, trafik yoğunluğu,

gürültü, yeşil alanların eksikliği ve taşımacılık sistemleri öne çıkan faktörler olarak görülmüştür.

Şekil 3. Şangay kent merkezi 23 milyondan fazla kişiye ev sahipliği yapmaktadır (solda). Kahire dünyanın en gürültülü şehirlerinden biri olarak kabul edilmektedir (sağda). (Url-1)



Şekil 4. Mumbai'de kişi başına düşen alan 5 m²'den daha azdır. (Url-1)



Kentsel strese yol açan faktörler araştırmacılar tarafından farklı olarak ele alınsa da, bu faktörleri genel olarak kentsel çevreden kaynaklanan faktörler, kentlerin durumundan kaynaklanan faktörler, ekonomik kentsel faktörler, sosyal yaşam kaynaklı faktörler ve sağlık faktörleri olmak üzere beş ana başlıkta toplayabilmek mümkündür (Şekil 5).

Bu beş temel faktörün alt başlıkları detaylandırıldığında, kentsel çevreden kaynaklı faktörlere örnek olarak kalabalık, etrafa dağılmış çöpler, yüksek katlı yapılaşma, trafik, kazalar ve yeşil alanların varlığı ve ulaşılabilirliği verilebilir. Kentsel yaşam koşullarından kaynaklı faktörler ise hava ve gürültü kirliliği, sıcaklık ve gün ışığı yetersizliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Sosyal yaşam faktörleri; cinsiyet eşitsizliği, ırk ayrımcılığı, suç oranları, sosyal destek ağlarının yetersizliğidir. Ekonomik faktörler; işsizlik, sosyal güvence ve satın alma gücü olarak değerlendirilebilir. Sağlık faktörleri ise ruhsal sağlık, fiziksel sağlık, beslenme, egzersiz yetersizliği, obezite ve virüslere açık olma durumlarını kapsamaktadır.

Şekil 5. Kentsel Strese Yol Açan Faktörler (Koene, 2018 verileri kullanılarak üretilmiştir)

Kentsel Strese Yol Açan Faktörler	Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler	Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler
		Yoğunluk, Kalabalık Sıkıcı mega yapılar Çöpler, duvar yazıları, bakımsızlık Keskin mimari açılar Trafik sıkışıklığı, Otopark problemleri Yeşil alanların varlığı & ulaşılabilirliği Yüksek yapılar Toplu taşıma, Güvenlik algısı Mimari ve kentsel tasarım düzenleri Konut koşulları Kazalar, Düşmeler	Cinsiyet eşitsizliği İrk eşitsizliği Güvenlik hissi Suç & Hirsizlik Sosyal destek ağlarının yetersizliği
Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler	Sağlık Kaynaklı Faktörler	Ekonomik Kentsel Faktörler
Güneşin görüldüğü saatler Hava kirliliği Gürültü kirliliği Işık kirliliği SO ₂ (kükürt dioksit)'ye maruz kalma NO ₂ (azot dioksit)'ye maruz kalma Radyasyona maruz kalma İklimsel ve jeofiziksel tehlikeler Isı	Akil sağlığı Fiziksel sağlık Mikrop, bakteri ve virüslere maruz kalma Beslenme Egzersiz yetersizliği Obezite	İşsizlik Kişi başına düşen borç Sosyal güvenlik Aile satın alım gücü

Yoğun kent yaşamının hangi bölgelerinin daha stresli olduğunun tespit edilmesi de önemli bir tartışma konusudur. Kentin yoğun tempoya sahip kavşak noktalarında kentliler huzursuz ve sınırlı hissederken, izole bölgelerinde güvensiz ve yalnız hissedebilmektedir. Kent içindeki yeşil alanlarda insanların sakin ve huzurlu hissettiği gözlenmektedir (Şekil 6). Sosyo-ekonomik statü ya da etnik köken sebebiyle komşularından farklı hissetmek bir kentsel stres faktörü olarak değerlendirilebilmektedir, bu da sıklıkla izolasyonu deneyimleyen göçmen grupların da kentsel stres yaşadığı

anlamına gelmektedir. Bu hipotez Almanya'ya göç eden nüfusun çocukları üzerinde test edilmektedir (Url-2).

Şekil 6. Stres ve kent (Url-2)



3. Dünya'da Kentsel Stres ve En Stresli Kentler

Mayıs 2019'da Dünya Sağlık Örgütü (WHO), tükenmişliği (burnout) Uluslararası Hastalık Sınıflandırması'na (ICD-11) dahil etmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre tükenmişlik yönetilemeyen iş stresinden kaynaklanmakta ve şu 3 semptomu göstermektedir (Url-3):

- Düşük enerjili ve tükenmiş hissetmek
- İşyerinde düşük motivasyon ve işten uzaklaşma, ya da bir göreve veya topluma karşı kötümserlik
- İşyerinde düşük performans ve kötü sonuçlar

Kötü olan durum ise dünya çapında birçok çalışan için bu semptomlar ortak hisleri yansıtmaktadır. Yale Duygusal Zeka Merkezi'nin 2018 yılında yaptığı bir araştırmaya göre (Moeller ve diğerleri, 2018); Amerika'da her 5 çalışandan 1'i tükenmişlik riski taşımaktadır.

Dünyanın en stresli kentlerini belirlemek için pek çok organizasyon farklı verileri kullanarak listeler oluşturmuşlardır. Bu listelerin geneline bakıldığında pek çok çalışmada bazı ortak verilerin bulunduğu görülmektedir. Bu ortak verilere örnek olarak haftalık çalışma saatleri, nüfus, trafikte geçirilen zaman, ruhsal sağlık bozukluğu oranı gibi veriler gösterilebilir. Bu çalışmada Savvy Sleeper (www.savvysleeper.org) ve 24/7 Tempo (www.247tempo.com) tarafından gerçekleştirilen çalışma sonrasında oluşturdukları en stresli kentler listeleri incelenecektir. Savvy Sleeper, uyku uzmanları, uyku sağlığı

araştırmacıları ve yazarlardan oluşan bir organizasyondur. 24/7 Tempo ise 24/7 Wall St. Medya Ağı'na bağlı bulunan bir internet sitesidir.

Savvy Sleeper tarafından 2020 yılında gerçekleştirilen çalışmada Uluslararası İş Örgütü, Küresel Çalışan Bağlılığı Endeksi, Sağlık Ölçüm ve Değerlendirme Enstitüsü'nün de aralarında bulunduğu 7 itibarlı kaynağa ait veriler ve bir insan kaynakları firması olan Glassdoor tarafından 340.000 çalışan üzerinde yapılan anket sonuçları kullanılmıştır. Bu listede en stresli kentleri belirlemek için stresli çalışan sayısı, iş yerinde bulunma (fazla mesai, hasta olursa da işe gelme, vb.), iş yerinde motivasyon düşüklüğü, yıllık çalışma süresi, tatil süresi, 48 saatten uzun çalışan nüfus, ruhsal sağlık bozukluğu yaygınlığı, günlük 7 saatten az uyuyan nüfus ve işten eve dönerken trafikte geçirilen zaman verileri kullanılmıştır. Her bir veri, alındığı kaynaktaki son güncel verilerden alınmıştır. Veriler min-max normalleştirme yöntemi kullanılarak standardize edilmiştir. Min-max normalleştirme değeri 10 ile çarpılarak her veri için 0-10 arası bir puan elde edilmiştir. 10 puan bir kategorideki en kötü değeri göstermektedir (Url-4). Tablo 1, bu veriler kullanılarak oluşturulan en stresli kentleri göstermektedir. Çalışmada 69 kent belirlenmiş olup, bu çalışmada ilk 30 kent seçilmiştir.

Listede ilk 10 kent içinde Asya ülkeleri ön plana çıkmaktadır. Listenin başında yer alan Tokyo'da işyerinde bulunma ve motivasyon düşüklüğü verilerindeki en yüksek puanlar dikkat çekerken, yine 7 saatten az uyuma verisi de en yüksek puana sahiptir. İkinci sıradaki Mumbai'de ise uzun çalışma saatleri ve trafikte geçirilen zaman yüksek puan almıştır. Üçüncü sırada yer alan Seul'de de benzer şekilde işyerinde bulunma, 7 saatten az uyuma ve tatil süresinin kısalığı strese neden olan etmenlerin başında yer almaktadır.

Avrupa kentlerine bakıldığında, listede 4. sırada ve Avrupa kentleri arasında 1. sırada yer alan İstanbul, stresli çalışan sayısı, haftalık 48 saatten uzun çalışma süresi ve trafikte geçirilen zaman ile stresli kentler listesinde ön plana çıkmaktadır. Avrupa'da 2. sırada, genel listede ise 14. sırada yer alan Londra'da ise günde 7 saatten az uyuma ve trafikte geçirilen zaman etmenleri öne çıkmaktadır. Finansal hizmetler sektöründe ekonomik merkez olarak görülen Londra, bu sektördeki uzun çalışma saatleri, yüksek baskı ve ruhsal sağlık sorunları nedeniyle tablodaki yerini almaktadır.

Tablo genel olarak incelendiğinde Avrupa kentlerinde Asya ve Amerika şehirlerine göre stresin daha az olduğu görülmektedir. Çalışmada, her ne kadar kent ölçeğinde yapılmış olsa da, işverenlere büyük rol düştüğü de belirtilmektedir. İşyerinde bulunma, motivasyon düşüklüğü, düşük tatil süreleri, uzun çalışma saatleri gibi etmenler, işverenlerin aksiyon almasıyla azaltılabilecek etmenlerdir.

Tablo 1. Savvy Sleeper'in çalışmasına göre dünyanın en stresli kentleri - 2020 (Url-4).

Sıra	Şehir	Ülke	Stresli Çalışan	İşyerinde Bulunma	İşyerinde Maltaziyos Dağılımı	Yıllık Çalışma Saatleri	Taahhüt Süresi	48 Saatlik Fazla Çalışan Nüfus	Ruhsal Bozukluk Yayılgılığı	7 Saatten Az Uyuyan Nüfus	Trafikte Geçirilen Zaman (Tek yön)	Genel Puan
1	Tokyo	Japonya	4.47	10	10	5.13	5.44	6.25	2.94	10	4.03	6.47
2	Mumbai	Hindistan	6.24	1.05	0	10	8.42	-	5.35	6.61	9.72	5.95
3	Seul	Güney Kore	1.92	8.95	6.5	6.28	7.02	5.64	2.32	9.36	5.06	5.92
4	İstanbul	Türkiye	8.32	3.10	3.5	6.32	2.52	9.11	5.11	4.23	8.55	5.87
5	Manila	Filipinler	5.18	4.74	3	6.21	7.06	5.65	1.23	6.81	9.74	5.51
6	Jakarta	Endonezya	2.2	4.74	3	6.18	7.83	7.08	1.02	6.44	8.12	5.29
7	Hanoi	Vietnam	-	3.68	3	7.7	8.3	8.24	0	8.28	1.06	6.28
8	Taipei	Tayvan	3.1	7.89	7	5.74	8.13	-	2	5.71	2.3	5.23
9	Los Angeles	ABD	-	2.11	2.5	5.14	8.53	4.06	6.48	3.37	7.14	5.17
10	Buenos Aires	Arjantin	3.84	3.68	0.5	4.37	6.47	5.27	6.7	5.58	6.71	5.12
11	Sidney	Avustralya	5.64	4.74	4.5	4.96	5.15	3.04	5.93	1.17	6.01	5.07
12	Şikago	ABD	7.23	2.11	2.5	5.0	7.1	4.06	6.48	3.37	5.09	5.08
13	Kuala Lumpur	Malezya	4.81	3.79	3	5.53	5.81	-	2.7	7.18	5.19	5.01
14	London	UK	5.44	4.21	4	5.15	3.05	3.02	5.48	7.91	6.77	5
15	Bogota	Kolombiya	5.24	2.63	2.5	6.48	6.55	8.51	0.38	5.09	7.19	4.99
16	Pekin	Çin	6.39	3.68	2.5	5.5	8.68	-	1.87	4.6	5.93	4.89
17	New York	ABD	5.54	2.11	2.5	5.31	6.85	4.06	6.48	3.37	5.54	4.84
18	Johannesburg	Güney Afrika	3.18	1.58	2.5	6.04	6.88	5.46	3.4	9.30	5.08	4.83
19	Auckland	Yeni Zelanda	5.6	3.68	4.5	4.84	4.69	3.75	10	1.04	3.76	4.7
20	Hong Kong	Hong Kong	5.25	3.68	2.5	5.77	6.76	-	1.87	5.58	4.94	4.64
21	Roma	İtalya	8.62	4.21	4	3.58	3.68	1.11	5.75	3.74	6.19	4.54
22	Şangay	Çin	3.02	3.68	2.5	5.08	7.54	-	1.87	4.6	7.58	4.54
23	Toronto	Kanada	5.88	3.68	4	4.79	5.74	2.25	6.44	2.27	5.85	4.52
24	Bangkok	Tayland	4.73	2.63	1.5	5.91	7.72	4.29	2.28	5.52	6.04	4.52
25	Nairobi	Kenya	1.97	2.63	2.5	5.2	4.19	16	2.88	-	16	4.48
26	San Francisco	ABD	2	2.11	2.5	5.48	-	4.06	6.48	3.37	6.87	4.38
27	Miami	ABD	-	2.11	2.5	5.15	7.79	4.06	6.48	3.37	5.59	4.34
28	Yeni Delhi	Hindistan	0	1.05	0	7.03	4.63	-	5.35	6.61	9.6	4.31
29	Atina	Yunanistan	2.45	6.32	5	5.48	3.92	1.68	6.48	3.5	3.65	4.27
30	Mexico City	Meksika	2.66	8	0	7.44	5.26	8.72	1.28	5.21	7.71	4.25

Dünyanın en stresli kentlerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapan bir diğer organizasyon da 24/7 Tempo medya sitesidir. 24/7 Wall St. Medya Ağı üyesi olan site, sağlık, seyahat, yiyecek, yaşam, eğlence ve spor alanlarında araştırmalar yapmakta ve yayınlamaktadır. Dünyanın en stresli şehirleri araştırmasında da değerlendirme faktörleri olarak sağlık durumu, finansal yeterlilik, işe gidiş süresi, konut satın alınabilirliği, haftalık çalışma saatleri ve 2020 Dünya Mutluluk Raporu'na göre (Url-5) mutluluk seviyesi değerlendirilmiştir. Bu yöntemde de min-max normalleştirme yöntemi kullanılmış ve verilere 0 ile 1 arasında bir değer verilerek her kent için ortalama bir bileşik puan elde edilmiştir (Url-6). Aşağıdaki tabloda 2020 yılında yapılmış bu çalışma neticesinde elde edilmiş en stresli şehirler görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. 24/7 Tempo araştırmasına göre en stresli şehirler - 2020 (Url-6)

Sıra	Şehir	Ülke	Haftalık Ortalama Çalışma Süresi	Tek yön işe gidiş süresi (dk)	Ruhsal bozukluk gösteren nüfus (%)		Mutluluk Raporu sıralaması (186 ülke içinde)	Nüfus
					Kadın	Erkek		
1	Hong Kong	Hong Kong	42	42	n/a	n/a	114	7,5 mil
2	Johannesburg	Güney Afrika	43	41	12,7	12,8	120	5,8 mil
3	Kahire	Mısır	36	51	14,9	14,3	177	20,9 mil
4	Atina	Yunanistan	40	38	16,9	14,0	121	3,2 mil
5	İstanbul	Türkiye	45	53	14,4	14,2	115	14,5 mil
6	Los Angeles	ABD	38	61	18,3	16,3	31	4 mil
7	Nairobi	Kenya	44	57	12,7	11,9	139	4,7 mil
8	Sao Paulo	Brezilya	36	51	15,8	13,1	53	22 mil
9	Sidney	Avustralya	38	43	19,2	17,5	110	4,9 mil
10	Mexico City	Meksika	50	52	11,3	10,4	38	21,8 mil
11	Buenos Aires	Arjantin	34	48	17,6	13,7	57	15,1 mil
12	Seul	Güney Kore	44	42	12,6	11,1	83	10 mil
13	Bogota	Kolombiya	45	51	9,6	10,4	45	11 mil
14	Auckland	Yeni Zelanda	37	37	20,1	17,2	16	1,6 mil
15	Toronto	Kanada	37	45	15,7	15,3	13	6,2 mil
16	New York	ABD	39	44	18,3	16,3	30	8,3 mil
17	Paris	Fransa	32	41	18,3	14,3	43	11 mil
18	Pekin	Çin	40	46	11,3	11,4	134	20,5 mil
19	Miami	ABD	39	43	18,3	16,3	27	471 bin
20	Barselona	İspanya	34	30	17,8	14,5	55	5,6 mil
21	Tokyo	Japonya	38	40	12,1	12,6	79	37,4 mil
22	Taipei	Tayvan	42	34	11,3	11,6	47	2,7 mil
23	Melbourne	Avustralya	n/a	41	19,2	17,5	14	5 mil
24	Budapeşte	Macaristan	36	39	11,5	11,2	103	1,8 mil
25	Şikago	ABD	41	42	18,3	16,3	25	2,7 mil

Bu tabloya göre 1. sırada yer alan Hong Kong, 1997 yılında İngiliz egemenliğinden tekrar Çin'e iade edilmiştir. Hong Kong'da kentsel stresin en büyük etmenlerinden biri konut satın alım gücüdür. Bir konutun maliyeti, ortalama bir hane gelirinin 20 katıdır ve bu oran dünyadaki tüm kentler arasında en yüksek orandır. Ayrıca 1997 yılında İngiltere, Hong Kong'u Çin'e iade ederken ekonomik ve basın özgürlüğünde komünist Çin'in kabul etmeyeceği şekilde bazı şartlarla iade etmiştir. Bu nedenle Çin'in Hong Kong üzerinde baskısı devam etmektedir. Bu da Hong Kong'ta Çin karşıtı eylemlere sebep olmakta ve ekonomi bu nedenle zarar görmektedir.

2. sıradaki Johannesburg'da ise %28,5 oranındaki işsizlik, listedeki 190 kent içinde en yüksek orandır. Tüm Güney Afrika'da olduğu gibi Johannesburg'daki yüksek suç oranları da kentsel stresin en büyük etmenlerindedir.

3. sıradaki Kahire, mutluluk raporu sıralamasında en kötü 9. kenttir. Buradaki stresin en büyük kaynağı trafik olarak karşımıza çıkmakta olup, 51 dakika ile işe gidiş süresi 50 dakikanın üzerinde olan listedeki 23 şehirden biridir. Ayrıca ülkedeki politik dengesizlik ve terör olayları da kentte stres yaratan diğer etmenlerdir.

4. sıradaki Atina, 2010 yılında yaşadığı ekonomik kriz sonrasında Avrupa Birliği ve IMF'den aldığı yardımlar sayesinde ayakta durabilmiştir. 2011 yılında ülkenin ekonomisi %9,1 oranında küçülmüştür. Ayrıca %17,3 ile Avrupa'nın ikinci en yüksek işsizlik oranına sahiptir. Uzun süren finansal kriz nedeniyle Atinalı girişimciler, kent sakinlerinin stres atmaları için sopalara ile televizyon, klavye, tabak gibi nesnelere parçaladıkları "öfke odaları" oluşturmuştur.

5. sıradaki İstanbul'da ise 53 dakikalık ortalama işe gidiş süresi ile trafik en büyük stres faktörüdür. Bu süre listedeki 13. en uzun işe gidiş süresidir. Haftalık ortalama 45 saatlik çalışma süresi de listedeki en uzun 6. çalışma süresidir. 2016'daki darbe girişimi, politik olaylar, gözetimler ve terör olayları da kentte strese neden olmaktadır. Suriye'deki savaştan kaçan göçmenler de ülkede gerginlik yaratmaktadır. İşsizlik oranının %14'e ulaştığı ülkede Suriyeli göçmenler de iş bulmak için yerel halk ile yarış halindedir.

3. Kentsel Stresi Azaltmak

Koene (2018), kentsel stres çalışmasında, stresi azaltmak için 1993 yılında Lazarus'un önerdiği iki yaklaşımı kullanmıştır. Bu yaklaşımlardan ilki, kişi ve çevre arasındaki ilişkiyi değiştirmeye yönelik olan "problem odaklı çözüm", ikincisi ise olayların etkisini ya da yorumunu değiştirmeye yönelik olan "duygu odaklı çözüm"dür. Koene ilk yaklaşımı "direk yaklaşım", ikinci yaklaşımı ise "dolaylı yaklaşım" olarak kullanmıştır.

Direk yaklaşımda amaç, kentsel strese neden olan etmenlerin ortadan kaldırılması yolu ile kentsel stresin

azaltılmasıdır. Örneğin kamusal açık alanlar artırılarak kalabalık etkisi azaltılabilmekte, toplu taşıma araçlarının kullanımı teşvik edilerek trafik azaltılabilmekte, aydınlatma ile sokaklar daha güvenli hale getirilebilmekte, yeşil öğeler ve kent mobilyaları ile sokakların ve caddelerin monotonluğu giderilebilmektedir.

Dolaylı yaklaşımda ise amaç, insanların stres hissini azaltmaya yönelik uygulamalar yaparak kentsel streşi azaltmaktır. Bu uygulamalara örnek olarak özel ve kamusal alanların doğru şekilde ilişkilendirilmesi, kent sakinlerinin rahat ve güvenli şekilde kentte hareket edebilmesi, konut alanlarının yaya yolları ve kaliteli kamusal alanlara bağlanarak insanların sosyalleşmesine olanak sağlanması ve doğal yeşil alanlar ile insanların zihinlerinin rahatlamasının sağlanması verilebilir.

İstanbul için yapılan bir çalışmada (Kaya, 2019), İstanbul'da yaşayanların şehre dair en çok nelerden şikayet ettikleri ortaya konmuştur. Buna göre ilk sırada gürültü kirliliği yer alırken, bunu sırasıyla kentteki ev satış ve kira fiyatları, kent içindeki insan kalabalığı, hava kirliliği, çevre kirliliği, şehir planlaması ve uygulamaları, ahlak ve sosyal kurallara uymama, trafik, çocuk oyun alanlarının azlığı, yeşil alanların yetersizliği, başkaları tarafından rahatsız edilme, otopark yetersizliği, kaldırımların genişliği ve kent güvenliği izlemektedir.

Türkiye'de kentsel stres bir kavram olarak ele alınmadığı için, kentsel strese yol açan faktörler de ele alınmamaktadır. Büyük kentlerde yaşayan insanların şikayet nedenleri pek çok çalışma ile ortaya konulmakla birlikte, bu nedenleri ortadan kaldırmak ya da etkilerini azaltmak amaçlı çok fazla çalışma görülmemektedir. Örneğin gürültü kirliliği, insan kalabalığı, hava kirliliği, yoğun trafik için yapılan çalışmalar birkaç adet ile sınırlıdır ve bu çalışmalar yeterli olmaktan oldukça uzaktır. Genel yaklaşım, insanları doğa ile, yeşil ile buluşturarak streslerini azaltmayı sağlamaktır. Bu nedenle yerel yönetimler yaptıkları yeşil alan uygulamalarını ön plana çıkarmaktadır. Oysa yukarıda belirtildiği gibi kentsel strese neden olan pek çok faktör bulunmaktadır. Kentlerdeki stres azaltılmak isteniyorsa, bu faktörlerin tümü değerlendirilmelidir.

İstanbul'da İstanbulluları yeniden yeşil alanla buluşturabilmek, stresten uzaklaşarak sakin ve huzurlu zaman geçirmelerini sağlamak amacıyla bazı projeler yapılmıştır. Bu projelerin bazılarını kısaca değinilecektir.

- Kemerburgaz Kent Ormanı (Url-7):

2019 yılının Ekim ayında faaliyete geçirilen Kemerburgaz Kent Ormanı toplamda 5 milyon 526 bin metrekare alana sahiptir. Göktürk ve Kemerburgaz'a yakın konumda olması sebebiyle özellikle hafta sonları İstanbul halkı tarafından ziyaret edilmektedir. Orman alanı içerisinde bisiklet parkurları, baraj gölü ve dinlenme alanları, futbol sahası, yürüyüş yolları ve kamp alanları bulunmaktadır. El sanatları, uçurtma atölyesi, hayvan ahırları, seyir terasları gibi farklı aktiviteler ile halk, İstanbul'un stresli kent yaşamından uzaklaşma fırsatı bulabilmektedir.

Şekil 7: Kemberburgaz Kent Ormanı haritası (Url-7).



Şekil 8: Kemberburgaz Kent Ormanı motosiklet parkuru ve macera parkı (Url-7)



Şekil 9: Kemberburgaz Kent ormanından bazı görüntüler (Url-8)



- Beylikdüzü Yaşam Vadisi

Toplamda 6 etaptan oluşacak olan ve Beylikdüzü'nü deniz ile buluşturmayı amaçlayan bir yeşil alan olan Beylikdüzü Yaşam Vadisi projesi, 1 milyon 200 bin metrekarelik bir alana sahip olacaktır. İlk etabı 2017, ikinci etabı ise 2019 yılında açılan projenin üçüncü etap çalışmalarında da sona gelmiştir.

Bu üç etapla birlikte toplamda 800 bin metrekarelik bir alan hizmete açılmış olacaktır. 2021 yılı sonuna kadar 4. ve 5. etapların da tamamlanarak projenin denize ulaşması sağlanmış olacaktır. Projede etkinlik alanları, yürüyüş yolları, spor alanları, okuma bahçesi, yoga bahçesi, botanik atölyesi gibi aktiviteler bulunmaktadır (Url-9).

Şekil 10: Beylikdüzü Yaşam Vadisi genel bakış (Url-10)



Şekil 11: Beylikdüzü Yaşam Vadisi vaziyet planı (Url-11)



Şekil 11: Beylikdüzü Yaşam Vadisi vaziyet planı (Url-11)

- Beykoz Belediyesi Hobi Bahçeleri

Beykoz Belediyesi tarafından doğal tarımı teşvik etmek, ilçedeki atıl arazileri kentin stresinden uzaklaşarak toprakla uğraşp stres atmak isteyen halkın kullanımına sunmak üzere Çubuklu Kiremitdere mevkiinde 2010 yılında hizmete açılmıştır.

20 dönümlük arazi üzerinde kurulan hobi bahçelerinde 50'şer metre karelik 100 adet bahçe bulunmaktadır. Her bahçe için bir ahşap kulübe, sulama sistemi ve terasların yerleştirildiği hobi bahçelerinin 50 araçlık bir otoparkı, çocuk oyun alanı, yönetimi, güvenliği ve bir kafeteryası bulunmaktadır (Url-12).

Şekil 12: Beykoz Belediyesi hobi bahçeleri yerleşim planı (Url-13) ve genel görünüm (Url-14)



• Çırpıcı Şehir Parkı

2015 yılında Zeytinburnu'nda faaliyete açılan ve 150 bin metrekare alana sahip Çırpıcı Şehir Parkı, Osmanlı döneminin ünlü mesire alanı olan Çırpıcı Çayırı üzerinde kurulmuştur. 1950'lerden sonra bölgede kurulan sanayi tesisleri nedeniyle bu alan ve alandan geçen dere son derece kirli hale gelmiş, Çırpıcı

Çayırı da kullanılamaz duruma gelmiştir. Şehir parkı iki etap olarak tasarlanmış, toplam 500 bin metrekare alana sahip olacağı öngörülmüştür. Şehir parkı içerisinde tenis kortları, halı sahalar, basketbol sahaları, buz pisti, piknik alanları, yürüyüş yolları, koşu ve bisiklet parkurları gibi aktiviteler yer almaktadır (Url-15).

Şekil 13: Çırpıcı Şehir Parkı (Url-16)



Şekil 14: Çırpıcı Şehir Parkı (Url-17)



4. Sonuç

Kentlerde giderek artan nüfus, kalabalık mekanlara, trafiğe ve gürültü kirliliği gibi durumlara neden olmaktadır. Trafikte geçirilen uzun süreler, araçların ve insanların gürültüsü, kalabalık mekanlarda bulunmak veya buralardan geçmek kentlerde yaşayan insanlarda strese neden olmaktadır. Bununla birlikte uzun çalışma saatleri, az uyuma, tatile gidememe, yeşil alanların kentteki oranının azlığı da bu strese katkı sağlayan diğer etmenlerdir. Günümüzde pek çok metropolde yaşayan insanlar, kentsel stres nedeniyle sağlığından olmakta, hatta hayatını kaybedebileceği seviyelere gelmektedir.

Bununla birlikte literatüre bakıldığında kentsel stres ile ilgili olarak yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Çalışmada adı geçen iki firma tarafından yapılan çalışmada bazı faktörler değerlendirilerek iki adet liste hazırlanmıştır. Değerlendirilen faktörlere bakıldığında genel olarak iş yerinde çalışma süreleri, işe giderken trafikte geçirilen zaman, uykuda geçirilen zaman, yılda tatile harcanan zaman gibi faktörlerin değerlendirildiği görülmektedir. Buradan yola çıkılarak bu iki çalışmada kentsel çevreden kaynaklı faktörler ve ekonomik faktörlerin değerlendirmeye alındığı sonucuna ulaşılmaktadır. Hazırlanan listelere göre dünyanın en stresli kentleri doğal olarak nüfusu yoğun olan metropoller olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle Asya ve Güney Amerika'daki metropoller bu listede ilk sıralardadır. Türkiye'nin en büyük kenti olan İstanbul da her iki listede ilk 5'in içinde yer almaktadır.

Ancak kentsel strese neden olan pek çok faktör bulunmaktadır. Kentsel stresin azaltılması için bu faktörlerin tümüyle değerlendirilmesi gerekmektedir. Gürültü kirliliği, insan kalabalığı, yoğun trafik, çevre kirliliği, sosyal donatı alanlarının yetersizliği, hava kirliliği, kentteki güvenlik önlemlerinin yetersizliği, konut fiyatları, cinsiyet eşitsizliği gibi pek çok stres faktörü bulunmaktadır. Ancak bu faktörlere özellikle ülkemizde yeterli önem verilmemekte olup, genel olarak kent sakinlerinin doğa ve yeşil alanlar ile etkileşimini sağlayarak, kentsel çevreden kaynaklanan kentsel stres faktörlerini azaltma yöntemi tercih edilmektedir. Ancak, bu yöntem anlık stres azaltılmasında etkili olmakla birlikte kalıcı çözümler sağlamamaktadır. Gürültü kirliliğinin azaltılması, caddelerin ve kaldırımların doğru tasarlanarak aşırı kalabalığa neden olmaması, doğru planlama çalışmaları ile yeşil alan ve donatı alanlarının, insanların sosyalleşebileceği alanların artırılması, toplu taşımının daha etkin kullanımının sağlanarak trafiğin azaltılması gibi kalıcı yöntemler ile birlikte kentsel stresin azaltılmasında kalıcı çözümler söz konusu olabilecektir. Bu noktada merkezi yönetim tarafından çeşitli önlemler alınarak özellikle sosyal yaşam kaynaklı faktörlerin, sağlık kaynaklı faktörlerin ve ekonomik faktörlerin azaltılması sağlanabilecektir. Örneğin stres nedeniyle sağlığı bozulan kent sakinlerine destek olunması, sağlığı bozan faktörlerin ortadan kaldırılması, cinsiyet eşitsizliğinin kaldırılması, suç oranlarının azaltılması ve kentlerin yeterli olacak şekilde güvenliğinin sağlanması, konut fiyatlarının düzenlenmesi, istihdam yaratılarak işsizliğin azaltılması gibi pek çok yaklaşım ile kentsel stresin azaltılması mümkündür.

Kentsel stresin azaltılmasında en etkili yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkan yeşil alanlar ve doğa ile iletişim, kentlerde yerel yönetimlerin en çok başvurduğu yöntemdir. Ancak büyük kentlerde arazinin değerli olması nedeniyle genel olarak bu arazilerin yeşil alan için ayrılması önünde engel teşkil etmektedir. Kentsel rant nedeniyle bu alanlar daha çok konut ya

da ticari alan gibi yoğun kullanımlara ayrılmaktadır. Bu nedenle kentlerde yeşil alanlar daha çok mahalle aralarına sıkışmış küçük parklar olarak öne çıkmaktadır.

İstanbul'da yapılan projelere genel olarak bakıldığında, daha büyük ölçekli yeşil alanların şehir merkezine uzak bölgelerde konumlandırıldığı görülmektedir. Bu noktalara ulaşım zor olduğundan, genelde o bölgede yaşayan halkın faydalanabileceği projeler olmaktadır. Kentin merkezi noktalarında yaşayan halkın ancak özel araç ile ulaşabileceği noktalarda gerçekleşen projelerdir. Bu da özellikle düşük gelir grubunun bu alanlara ulaşımını oldukça zorlaştırmakta, bu kesimin kentsel stresini azaltmada rol oynayamamaktadır. Çalışmada örnek olarak gösterilen projelerin seçilme nedenleri, geniş bir nüfusa hitap edebilecek nitelikte ve büyüklükte gerçekleştirilmiş olmalarıdır. Bununla birlikte bu alanlarda geçirilecek zamanın ve gerçekleştirilebilecek aktivitelerin kentsel stresini azaltabilecek nitelikte olabilmesidir. Yalnızca bir parkta oturarak yeşil öğelere bakılarak stresin azalması değil, farklı aktiviteler ile bireylerin meşgul olması ve strese neden olan faktörleri bir süreliğine de olsa untabilecek olması, projelerin değerlendirilmesinde önem kazanmıştır.

Öte yandan gerçekleştirilen projelerde stres kavramı genel anlamıyla kullanılmakta, kentsel stres kavramı olarak çok geçmemektedir. Ayrıca yeşil alanların sayısının ve büyüklüğünün artırılması kentsel stresini azaltacak önemli bir adım olsa da, tek başına yeterli olmayacaktır. Trafikte geçirilen uzun zamanlar, uzun çalışma saatleri, kentlerdeki yoğun kalabalık da çözüm bulunması gereken diğer faktörlerdir. Özellikle toplu taşımının yetersizliği ya da yeterince teşvik edilememesi sonucu artan özel araç kullanımı ile birlikte gelen yoğun trafik, kentsel strese neden olan en önemli etkenlerden biridir. Yerel yönetimler tarafından bu konuda da yeterli çözüm önerileri getirilmelidir.

Bir kentte yaşayanların kentsel stresini azaltabilmek için öncelikle o kentteki strese neden olan etkenler tespit edilmeli ve bu etkenleri ortadan kaldıracak ya da azaltabilecek çalışmalar yapılmalıdır. Genel varsayımlarla ve tek başına çözüm olması umuduyla yapılan çalışmalar uzun vadede getiri sağlamayacaktır.

Kaynakça

- Evans, G., Cohen, S. 1987. Environmental Stress, Handbook of Environmental Psychology, Vol.1, p. 571-610, Wiley-Interscience Publication.
- Kaya, F.Ş., 2019. Kent Yaşamı Memnuniyeti, Stresle Başa Çıkma ve Yaşam Doyumu İlişkisi: İstanbul Örneği, Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, Vol 3 Issue 2, p 325-342.
- Koene, M., 2018. Urban Stress, Research into the Reduction of Urban Stress Through Urban Design, Master Thesis, TU Delft.
- Moeller, J, ve diğerleri, 2018. Highly Engaged But Burned Out: Intra-individual Profiles in the US workforce, Yale Center for Emotional Intelligence and Yale Child Study Center, Yale University, U.S.A.
- UN Habitat, 2020. World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization.
- Url-1: <https://www.theguardian.com/cities/2015/oct/08/where-world-most-stressful-city-urban-life-depression-anxiety>, erişim tarihi: 01.02.2021
- Url-2: <https://www.nature.com/news/stress-and-the-city-urban-decay-1.11556>, erişim tarihi: 05.02.2021

- Url-3: <https://www.who.int/news/item/28-05-2019-burn-out-an-occupational-phenomenon-international-classification-of-diseases>, erişim tarihi: 01.02.2021
- Url-4: <https://savvysleeper.org/cities-with-highest-burnout/> , erişim tarihi: 01.02.2021
- Url-5: https://happiness-report.s3.amazonaws.com/2020/WHR20_Ch3.pdf , erişim tarihi: 07.02.2021
- Url-6: <https://247tempo.com/the-worlds-most-stressed-out-cities/7/> , erişim tarihi: 07.02.2021
- Url-7: <https://kemberburgazkentormani.ist/> , erişim tarihi: 11.02.2021
- Url-8: <https://gezilmesigerekenyerler.com/kemberburgaz-kent-ormani>, erişim tarihi: 11.02.2021
- Url-9: <https://www.harmonigd.com.tr/tr/haber/beylikduzu-yasam-vadisi-4-etap-calismalari-basladi/> , erişim tarihi: 11.02.2021
- Url-10: www.arkiv.com.tr, erişim tarihi: 11.02.2021
- Url-11: <https://www.yalin-mimarlik.com/projeler/beylikduzu-vadi>, erişim tarihi: 11.02.2021
- Url-12: <https://www.haberler.com/beykoz-da-hobi-bahcesi-acildi-2263892-haberi/>, erişim tarihi: 15.02.2021
- Url-13: <http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=104918> , erişim tarihi: 15.02.2021
- Url-14: <https://www.yesilist.com/istanbulun-11-hobi-bahcesi/> , erişim tarihi: 15.02.2021
- Url-15: <http://www.zeytinburnu.istanbul/Haberler/Istanbulun-En-Buyuk-Parki-Zeytinburnunda-Acildi> , erişim tarihi: 16.02.2021
- Url-16: <https://www.yeniemlak.com/zeytinburnu-cirpici-kent-parki-acildi-3459-diger-haberler> , erişim tarihi: 16.02.2021
- Url-17: <http://www.avrupaparkbahceler.com/> , erişim tarihi: 16.02.2021



2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Yapısal Analizler Işığında Karşılaştırılması

Kübra Adar¹, Aydın Büyüksaraç², Ercan Işık³, Ali Emre Ulu^{4*}

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6595-2879), kubra_adar05@hotmail.com

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksek Okulu, Çan Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4279-4158), absarac@comu.edu.tr

³ Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Bitlis, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8057-065X), ercanbitliseren@gmail.com

^{4*} Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Bitlis, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7499-3891), aliemreulu@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 30 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.906347)

ATIF/REFERENCE: Adar, K., Büyüksaraç, A., Işık, E., & Ulu, A.E. (2021). 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Yapısal Analizler Işığında Karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (25), 306-317.

Öz

Depremlerden dolayı meydana gelen yapısal hasarları ve bu hasarlar sonucu oluşan can kayıplarını en aza indirmek amacıyla depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları hazırlanmaktadır. Bilimsel gelişmeler, yapım teknolojileri ve yapı malzemelerindeki yenilikler ile depreme oluşan hasarların birlikte dikkate alınması sonucu, yenilenme ve değişim ihtiyacı kaçınılmazdır. Bu çalışma kapsamında 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Kullanılan yazılımın uygun sürümleri kullanılarak, örnek olarak seçilen on beş katlı betonarme bir yapı her iki yönetmelik için analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizler sonucu örnek olarak incelenen bina için değişimler belirtilerek, yorumlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Yönetmelik, Yapısal Analiz, Betonarme, Zemin

Comparison of 2007 and 2018 Seismic Codes in the Scope of Structural Analysis

Abstract

In order to minimize the structural damages caused by earthquakes and the loss of life resulting from these damages, earthquake resistant building design rules are prepared. The need for renewal and change is inevitable as a result of scientific developments, innovations in construction technologies and building materials and taking into account the damage caused by the earthquake. Within the scope of this study, comparisons were made between 2007 and 2018 seismic design codes. As an example, a fifteen-storey reinforced concrete structure selected was analyzed for both regulations and the results were compared by using the appropriate versions of the software that used in this study. Changes were indicated for the sample RC building as a result of structural analyses and comments were made.

Keywords: Earthquake, Regulation, Structural Analysis, Reinforced Concrete, Soil

*Sorumlu Yazar: aliemreulu@gmail.com

1. Giriş

Depremler sonucu oluşan yapısal hasarlar ile zaman içerisinde gelişen yapım teknolojileri ve yapı malzemelerinin de etkisi ile depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerinde değişikliklere gidilmesi kaçınılmazdır. Elde edilen deprem hasar verileri, yapı ile ilgili yönetmeliklerin gelişmesine önemli katkılar sunmaktadır. Türkiye, yaşadığı acı deprem olayları sonucu bu kurallarda önemli değişikliklere gitmiştir. Farklı tarihlerde kuralların bir kısmı güncellenerek ya da tamamen değiştirilerek, 1 Ocak 2019 yürürlüğe girerek en son şeklini almıştır.

Afetler hakkında ilk düzenleme 14.09.1509 tarihinde İstanbul'da meydana gelen yaklaşık 13.000 kişinin ölümüne neden olan deprem sonrası II. Bayezid'in çıkardığı fermana dayanmaktadır (Kemaloğlu, 2015). 26 Aralık 1939'da Erzincan da gerçekleşen ve çok büyük yıkıma sebebiyet veren bu deprem sonrası ilk yönetmelik hazırlanmıştır (Öztürk, 2018). İlk olarak 1940 "Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi" yayınlanmış ve günümüze kadar değişimlere uğrayarak farklı şekillerde ilan edilmiştir (Tablo 1) (Alyamaç ve Erdoğan, 2005).

Tablo 1. Yönetmeliklerin tarihsel değişimi

Yönetmelik Tarihi	Yönetmeliğin Adı
1940	Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
1944	Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi
1949	Türkiye Yer Sarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
1953	Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
1962	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
1968	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1968)
1975	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1975)
1998	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1998)
2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)
2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)

1940 Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi'nde, henüz betonarme yapıların yaygınlaşmadığı bu dönemde mimari özelliklere yer verilmiş, duvar kalınlığı, kat yüksekliği gibi konular üzerinde durulmuştur. 1944 Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi'nde başlangıç olarak resmi işlere, ruhsat ve cezai hükümlere yer verilmiştir. Betonarme yapılara değinilmiş ancak ayrıntılara yer verilmemiştir. 1940 talimatnamesinden farklı olarak temel zemininden söz edilmiş ve bina uzunlukları hakkında sınırlar belirtilmiştir. Bir bina inşası için en uygun olan malzeme ve itinalı işçilik kavramı anlatılmıştır (Parlar, 2019). 1949 Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği'nde, detaylı olmamakla birlikte 1. ve 2. derece deprem bölgeleri hakkında hükümler getirilmiştir. Temel kazık ya da radyejeneral temel kullanma zorunluluğu başlatılmıştır. Deprem etkisine düşey etkinin yanında, yatay etkinin de ele alınması gerektiği vurgulanmıştır. Yatay deprem etkisinin kesiştiği iki dik eksen üzerinde etki ettiğini ancak iki doğrultu üzerinde de eşit derecede etki göstermediği ifade edilmiştir (Alyamaç ve Erdoğan, 2005; Emlakansiklopedisi, 2018). 1968 yılındaki yönetmelik genel olarak farklı türdeki doğal afetler için korunma yolları ile tasarım kuralları içermektedir. Betonarme terimi ilk defa bu yönetmelikte kendine yer bulmuştur. Yapıların mümkün olduğu kadar basit olarak inşa edilmesi önerilmektedir (ABYYHY, 1968). ABYYHY-1968'in güncel hali 1975 yönetmeliğinde kendine yer bulmuştur. Bu yönetmelik, su, yangın ve deprem afetinden korunmak başlıkları altında yayınlanmıştır (ABYYHY, 1975). Yapı önem derecesi, hareketli yük azaltma katsayıları ilk kez bu yönetmelik ile ifade edilmiştir.

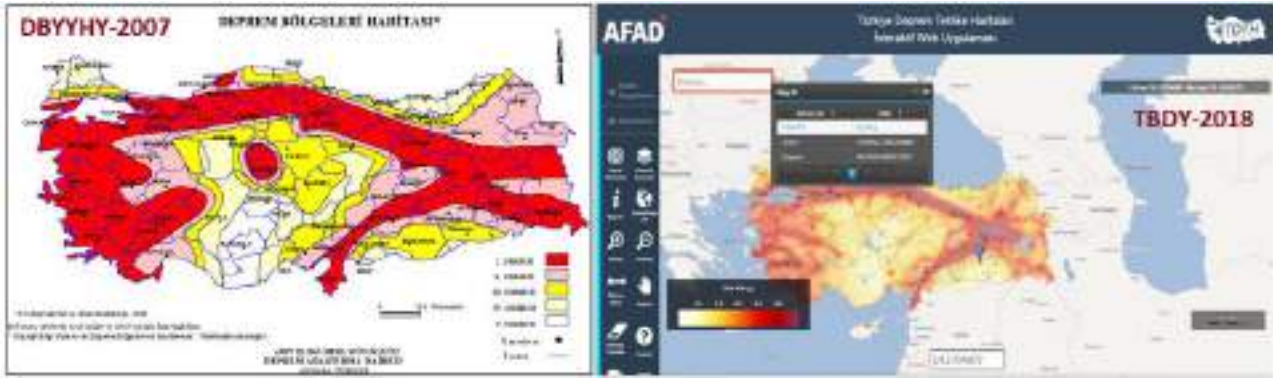
1999 yılında oluşan İzmit (Gölcük) Mw=7.6 ve Düzce Mw=7.2 büyüklüğünde depremlerde oluşan büyük çaplı can ve mal kayıpları 1998 yönetmeliğinin güncellenmesi gerekliliği

sonucu 2007 yılında oluşturulmuştur. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYYHY, 2007) Marmara Depremi sonrası oluşan ciddi kayıplar nedeniyle 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'in belirli kısımları değiştirilip düzenlenerek ilan edilmiştir (ABYYHY, 1998). Bu düzenlemeler içerisinde en önemli değişim, performans analizinin zorunlu kılınması olmuştur (DBYYHY, 2007). Bu yönetmelikte köklü değişikliklerin yapılmamış olması ve değişen bilimsel ve teknik koşullardan kaynaklı tekrar değiştirme gereği duyulmuştur. İlk değişim 2016 yılında hazırlanan taslak oluşumuyla yapılar son olarak Mart 2018'de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği hazırlanmış ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik hem deprem açısından hem de yapısal olarak incelenip daha geniş bir çerçevede sunulmuştur. Son iki yönetmelik arasındaki değişimleri inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, genel olarak spektrum eğrilerindeki değişimlerin yapı performansına etkisi, kesit hasar seviye değişimlerinin incelenmesi, tasarım spektral ivme katsayılarındaki değişim, taşıyıcı sistem performans değişimlerinin incelenmesi, il ve bölge bazında değişimlerin incelenmesi ve benzer konularda yapılmıştır (Işık vd. 2021; Sümer ve Hamsici, 2020; Işık vd., 2020; Aksoylu ve Arslan, 2021; Karaşin vd., 2020; Ulutaş, 2019; Bozer, 2020; Dalyan ve Şahin, 2019; Keskin ve Bozdoğan, 2018; Aksoylu vd., 2020; Nemrutlu vd. 2020). Ayrıca yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesi deprem mühendisliği açısından önemli bir yere sahiptir (Özyurt ve Hayvalı, 2020; Işık vd., 2020; Aktaş ve Karaşin, 2014). Bu çalışma kapsamında son iki deprem yönetmeliği arasındaki temel farklılıkların yanı sıra yapısal analizlere etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. Yöntem

Çalışmanın temel amacı, 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri arasındaki farkları belirlemek ve örnek bir betonarme bina için yapısal analiz sonuçlarının hangi ölçüde değiştiğinin ortaya konulmasıdır. Bu bağlamda her iki yönetmelik olabildiğince detaylı incelenmeye çalışılmıştır. 7genel bölümden oluşan DBYYHY-2007, 31.12.2018'de yürürlükten kaldırılmıştır. TBDY-2018, 17 bölüm ve 395 sayfadan oluşturulmuş ve 01.01.2019'da yürürlüğe konulmuştur. Son deprem yönetmeliği bu bağlamda daha detaylı olarak hazırlanmıştır. DBYYHY-2007, betonarme, çelik ve yığma binalar ile ilgili tasarım kurallarını içerirken, bu yapıların yanı sıra deprem tesirindeki yerinde dökme ve ön üretilmiş betonarme, hafif çelik, karma ve ahşap malzemelerden yapılacak binalar için

kuralları içermektedir. Yeni deprem yönetmeliğindeki en büyük değişiklik herhangi bir coğrafi konuma göre sahaya özgü deprem tehlikesinin hesaplanabilmesidir. DBYYHY-2007'de bölgesel bazda yapılan hesaplamalar artık konuma özel olarak gerçekleştirilmektedir. Kısaca makro boyuttan mikro boyutta deprem tehlikesi hesaplanmaya başlanılmıştır. Deprem bölgelendirme haritası yerine Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılmaya başlanmıştır. DBYYHY-2007'de deprem bölgeleri beş farklı bölge ile ifade edilmiş olup ivme değerleri 0.1g-0.4g arasında değişen değerler almaktadır. TBDY-2018, noktaya özel hesaplama gerektirmekte ve bu hesaplamalar İnteraktif Deprem Web Uygulaması ile doğrudan gerçekleştirilmektedir. İki yönetmelikte dikkate alınan deprem tehlike haritaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Son iki deprem yönetmeliğinde deprem tehlike haritaları (AFAD, 2018)

DBYYHY-2007'de deprem düzeyi herhangi bir simge ile ifade edilmemekle birlikte tüm yapılacak yapılarda 50 yılda aşılma olasılığı %10, tekrar oluşma periyodu 475 yıl olarak belirtilen depremler için kullanılmıştır.

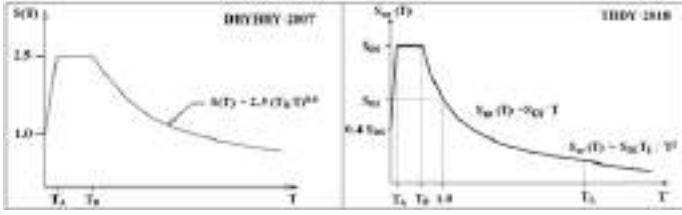
TBDY-2018'de dört farklı deprem yer hareket düzeyi öngörülmüştür ve her bir yer hareket düzeyi DD simgesi ile belirtilmiştir (TBDY, 2018). Bu deprem düzeyleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Deprem yer hareketi düzeyi (TBDY-2018)

Deprem Düzeyi	Tekrarlanma Periyodu	Aşılma Olasılığı (50 yılda)	Tanımı
DD-1	2475	0.02	En büyük deprem yer hareketi
DD-2	475	0.10	Standart tasarım deprem yer hareketi
DD-3	72	0.50	Sık deprem yer hareketi
DD-4	43	0.68	Servis deprem hareketi

Yeni yönetmelik ile etkin ivme katsayısı yerine, tasarım ivme spektrumu, harita spektral ivme katsayısı ve yerel zemin etki katsayıları kullanılmaktadır. Bu parametrelerin kullanılması ile ülkemizde yer alan her bir nokta için harita spektral ivme katsayıları (S_S ve S_1) dikkate alınarak tasarım ivme katsayıları (S_{DS} ve S_{D1}) kullanılarak elde edilen ivme spektrumları kullanılacaktır. Böylelikle daha önce binanın bulunduğu deprem bölgesine bağlı olarak tek bir değer alan spektral ivme katsayısı, kısa ve uzun periyot bölgeleri için ayrı ayrı belirlenecektir. Her iki yönetmelikte yer alan spektrum eğrilerinin karşılaştırılması ise Şekil 2'de verilmiştir. Ayrıca DBYYHY-2007'de ifade edilmeyen düşey elastik tasarım spektrumu, TBDY-2018 ile ilk kez deprem yönetmeliklerinde kendine yer bulmuştur. Yerel zemin özellikleri yapıların deprem davranışını doğrudan etkilemektedir (Borcherd, 2004; Över, vd. 2011; Büyüksaraç, vd. 2013; Karaşin ve Işık, 2017; Işık, vd. 2016; Işık ve Kutanis, 2015; Yakut vd., 2014). Bu

bağlamda TBDY-2018'de iki farklı yerel zemin katsayısı ile ifade edilmiştir (F_S ve F_1). F_S , kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısını ifade ederken F_1 , 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısını belirtmektedir. DBYYHY-2007'de Bina Önem Katsayısı (I), 1.0, 1.2, 1.4 ve 1.5 olmak üzere dört farklı değer almaktadır. Bina Önem Katsayısı (I), TBDY-2018'de de kullanılmaya devam edilmesine rağmen 1.0, 1.2 ve 1.5 olmak üzere üç farklı değer almaktadır. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar için DBYYHY-2007'de 1.4 değeri kullanırken, bu değer yeni deprem yönetmeliğinde daha önceki 1.5 değerinin olduğu yapı grubu ile birleştirilerek 1.5 olarak dikkate alınmaya başlanmıştır. TBDY-2018'de bu katsayı hesaplanırken, DBYYHY-2007'de belirtilmeyen Bina Kullanım Sınıfı (BKS) da yeni yönetmelikte kendine yer bulmuştur.



Şekil 2: Spektrum eğrilerinin karşılaştırılması

DBYYHY-2007’de zemin grupları A, B, C ve D olarak 4 gruba ayrılmış ve hangi zemin türü olduğu yapılacak zemin etütleri sonucunda belirlenmekteydi. A’dan D’ye doğru gidildikçe zeminin taşıma gücü düşmekteydi (Tablo 3). Ayrıca bu yönetmelikte zemin gruplarının yanı sıra zemin sınıfları dört

farklı şekilde sınıflandırılmakta idi (Z1, Z2, Z3 ve Z4) (Tablo 4). Yeni yönetmelik ile zemin grup ve sınıfları birleştirilerek Yerel Zemin Sınıfı olarak adlandırılmaya başlanmıştır (Tablo 5).

TBDY-2018’de ilk kez deprem tasarım sınıfları yer almıştır. Bina kullanım sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak deprem tasarım sınıfları tanımlanmıştır. Deprem tasarım sınıfları Tablo 6’de belirtilmiştir. Deprem yönetmeliklerimize giren yeni bir ifade, Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)’dir. TBDY-2018’de deprem etkisi altında bina yükseklik sınıfları sekiz farklı grupta sunulmuştur (Tablo 7).

Tablo 3: DBYYHY-2007 yönetmeliğine göre zemin gruplaması

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Rölatif Sıklık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar; sert çimentolu tortul kayalar...	-	-	> 1000	>1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl...	>50	85-100	-	>700
	3. Sert kil ve siltli kil...	>32	-	> 400	>700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar; süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar...	-	-	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl...	30-50	65-85	-	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil...	16-32	-	200-400	300-700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar...	-	-	< 500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl...	10-30	35-65	-	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil...	8-16	-	100-200	200-300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları...	-	-	-	<200
	2. Gevşek kum...	< 10	< 35	-	<200
	3. Yumuşak kil, siltli kil...	< 8	-	<100	<200

Tablo 4: DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre zemin sınıflaması

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h1)
Z1	(A) Grubu zeminler $h1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	15 m < $h1 \leq 50$ m olan (C) grubu zem. $h1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Tablo 5: TDBY-2018 yönetmeliğine göre zemin sınıflaması

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(Vs)30 [m/s]	(N60)30 [darbe/30cm]	(cu)30 [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı, sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 m daha kalın yumuşak kil tabakası ($cu < 25$ kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gereken zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turbo ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

DBYBHY-2007’de Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK), Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG) ve Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ) olmak üzere üç farklı performans düzeyi varken, TDBY-2018’de dört farklı performans düzeyi ifade edilmiştir. Bu performans düzeyleri TDBY-2018’de Kesintisiz Kullanım (KK), Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar

(KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) olarak belirtilmiştir. Deprem yükü azaltma katsayıları da DBYBHY-2007 yönetmeliği’nde Eşitlik 1 ve 2 ile TDBY-2018 Yönetmeliği için Eşitlik 3 ve 4’de verilmiştir.

$$Ra(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (1)$$

$$Ra(T) = R \quad T_A < T \quad (2)$$

$$Ra(T) = \frac{R}{l} \quad T > T_A \quad (3)$$

$$Ra(T) = D + \left(\frac{R}{l} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (4)$$

Tablo 6: Deprem tasarım sınıfları

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2,3
$SDS < 0.33$	$DTS = 4a$	$DTS = 4$
$0.33 \leq SDS < 0.50$	$DTS = 3a$	$DTS = 3$
$0.50 \leq SDS < 0.75$	$DTS = 2a$	$DTS = 2$
$0.75 \leq SDS$	$DTS = 1a$	$DTS = 1$

Tablo 7: Bina yükseklik aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Sınıflarına Göre Tamamlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
$BYS = 1$	$HN > 70$	$HN > 91$	$HN > 105$
$BYS = 2$	$56 < HN \leq 70$	$70 < HN \leq 91$	$91 < HN \leq 105$
$BYS = 3$	$42 < HN \leq 56$	$56 < HN \leq 70$	$56 < HN \leq 91$
$BYS = 4$	$28 < HN \leq 42$	$42 < HN \leq 56$	
$BYS = 5$	$17.5 < HN \leq 28$	$28 < HN \leq 42$	
$BYS = 6$	$10.5 < HN \leq 17.5$	$17.5 < HN \leq 28$	
$BYS = 7$	$7 < HN \leq 10.5$	$10.5 < HN \leq 17.5$	
$BYS = 8$	$HN \leq 7$	$HN \leq 10.5$	

Bunların yanı sıra beton ve çelik malzeme sınıfları ve taşıyıcı sistem boyutlarında önemli değişiklikler olmuştur. DBYYHY-2007'de minimum beton sınıfı C20 iken yeni yönetmelikte bu değer C25 olarak belirlenmiştir. Minimum dikdörtgen kolon boyutları 25×30 cm iken yeni yönetmelikte 30×30 cm olarak belirlenmiştir.

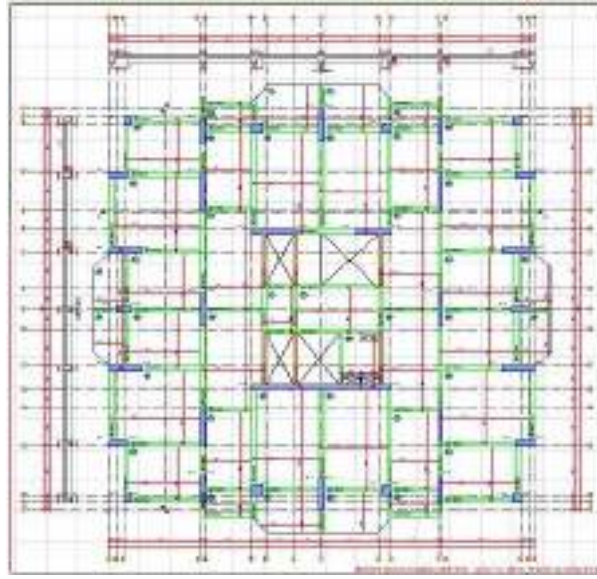
2.1. Veri

Bu bölümde, örnek olarak seçilen bir betonarme bina için her iki yönetmelik için ayrı ayrı yapısal analizler gerçekleştirilerek, her iki yönetmelik için değişimler incelenmiştir. Yazılım programı olarak İdeCAD kullanılmıştır (İdeCAD, 2013). Yapılarda malzeme modelleri yapı deprem davranışlarını doğrudan etkilemektedir (Işık vd., 2019). Beton ve çelik için yazılımda yer alan modeller kullanılmıştır. Yapı; bodrum, zemin ve on üç normal kat olmak üzere toplamda on beş kattan oluşmaktadır. Yapının toplam yüksekliği 46.10 m, rijit bodrum üst yapı yüksekliği 43.10 m, rijit bodrum katsayısı 1, maksimum kat yüksekliği 3.70 m ve maksimum giriş açıklığı 6.25 metredir. Yapıda 17 adet rijit diyafram bulunmaktadır. Yapının genel görünümü Şekil 3a'da, yazılımdan elde edilen üç boyutlu modeli Şekil 3b'de ve kat kalıp planı Şekil 4'de gösterilmektedir. Yapısal tüm özellikler her iki yönetmelik için aynı seçilmiştir. Yeni yönetmelikle birlikte gelen yeni parametrelerden biri olan Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) yapı taşıyıcı sistem durumu ve

bina yükseklik durumuna göre belirlenmektedir. Yapının süneklik düzeyi yüksek olduğundan ve bina yükseklik durumundan dolayı dayanım fazlalığı katsayısı X ve Y doğrultularında 2.5 olarak belirlenmiştir. Yapı kullanım amacı, konut/işyeri olarak değerlendirilmiş ve bina önem katsayısı (I) 1 alınmıştır. Çalışmada seçilen örnek bina 15 katlı olup, bu yükseklikteki binalar için deprem yönetmeliklerinde öngörülen ve kullanılan yazılım içerisinde yer alan hesap esasları otomatik olarak seçilmiştir. Eksantrisite oranı 0.05, süneklik düzeyi her iki doğrultu için yüksek olarak dikkate alınmıştır. Deprem bölgesi olarak 2. bölge, yerel zemin sınıfı ise Z1 olarak dikkate alınmıştır. Bu durum için etkin yer ivme katsayısı (A_0) 0.30 olmaktadır. DBYBHY-2007'ye göre spektrum karakteristik periyotları olan $T_A=0.10$ ve $T_B=0.30$ değerleri elde edilmiştir. Zemin etüd raporu dikkate alınarak zemin yatak katsayısı 3600 tf/m³ olarak dikkate alınmıştır. Malzeme seçimi yapılırken TBDY-2018'e uygunluk göstermesi adına C25-B420C seçilmiştir. TBDY-2018 için deprem parametre değerleri, Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası İnteraktif Web Uygulaması üzerinden yapının yapılacağı coğrafi konum dikkate alınarak elde edilmiştir. Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) yeni eklenen parametreler içerisinde bulunmaktadır. Kısa periyot tasarım ivme değeri ve DD-2 yer hareketi düzeyinin ortak paydası bölümü altında oluşturulmuştur. Ele alınan yapıda kısa periyot değeri 0.2632 olup, bu değer belirtilen ivme katsayısı değerinden küçük olduğu için ve yer hareketi düzeyi DD-2 olduğundan tasarım sınıfı 4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3:(a) Bina genel görünümü, (b) Binanın üç boyutlu modellemesi



Şekil 4: Yapı kat kalıp plan

3. Bulgular

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 dikkate alınarak örnek olarak seçilen yapı için yapısal analizler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her iki deprem yönetmeliği için yapısal analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 8’de gösterilmiştir.

Bina performans hedefi ve uygulama tasarımı, deprem yer hareketi düzeyi, tasarım sınıfı ve bina yüksekliğine bağlı olarak oluşturulan yeni bir parametredir. Bu şartlar dâhilinde yapının performans hedefi kontrollü hasar sınıfı içerisinde olup, uygulama tasarımı yaklaşımı ise “dayanıma göre tasarım” olarak belirlenmiştir.

Spektrum karakteristik periyotları olan T_A ve T_B değerleri, DBYBHY-2007 için yerel zemin sınıfına bağlı olarak belirtilen şartlara uygun olarak alınmaktaydı, yeni yönetmeliğin yürürlüğe girmesiyle Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması dahilinde yapı konum bilgileri girilerek bu değerlere ulaşılmaktadır. DBYBHY-2007 için yapı spektrum periyotları Z1 zemin sınıfı için 0.10 s ve 0.30 s değerleri arasında değer alırken, bu periyot değerleri TBDY-2018 için uygulama yardımı ile 0.08 s ve 0.41 s aralığı olarak belirlenmiştir. Son iki deprem yönetmeliğinde spektrum karakteristik periyotları ve katsayılarının hesaplanmasındaki değişiklikler, binanın taban kesme kuvveti ve diğer parametrelerde farklı etkilere sebep olmuştur

Tablo 8: Yapısal analiz sonucu elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Parametre	DBYBHY 2007	TBDY 2018
Bina Önem Katsayısı (I)	1	1
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	-	3
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (X/Y)	-	2.5/2.5
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Gruplandırılmamış-Tek düzey	DD2
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	-	4

Bina Yükseklik Sınıfı	-	4
Bina Performans Hedefi	-	Kontrollü hasar
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) X	6.49	7.00
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) Y	6.25	7.00
Deprem Bölgesi	2	-
Yerel Zemin Sınıfı	Z1	ZA
Spektrum Karakteristik Periyotları	$T_A: 0.10$ $T_B: 0.30$	$T_A: 0.08$ $T_B: 0.41$
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı (S_S)	-	0.329
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	-	0.135
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})	-	0.2632
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1})	-	0.108
En büyük yer ivmesi (g) (PGA)	0.3	0.146
En büyük yer hızı (PGV)	-	10.724
Yükleme Durumları	E_X ve E_Y doğrultularında yükleme öngörülmüştür.	E_X , E_Y ve E_Z doğ. yükleme öngörülmüştür.
Kesit Kontrolü	Yetersiz elemanlar var	Tüm kesit elemanları yeterlidir.
A1 düzensizliği	Bütün katlarda A1 düzensizliği sağlanamamıştır. $\eta_{i(max)}=1.39 > 1.2$ (1.kat) dinamik analiz yapılmıştır	Bütün katlarda A1 düzensizliği koşulu sağlanamamıştır. $\eta_{i(max)} = 1.62 > 1.2$ (2.kat) dinamik analiz yapılmıştır
Hesap Yöntemi	Dinamik hesap yöntemi kullanılmıştır.	Tepki spektrumu yöntemi kullanılmıştır.
Toplam Deprem Yüğü (X)	$V_t = 324.15$ (tf)	$V_t = 135.43$ (tf)
Toplam Deprem Yüğü (Y)	$V_t = 412.84$ (tf)	$V_t = 143.74$ (tf)
Yapı Doğal Titreşim Periyodu	$T_A = 0.10 \leq T_B = 0.30 \leq T_r = 1.31$	$T_A = 0.08 \leq T_B = 0.41 \leq T_r = 1.9$
Spektrum Katsayısı	$S(T) = 0.77$	0.05
Hesaba Katılan Mod Sayısı	18	15
Kiriş Statik Sonuçları	$T_{max}: 4.12$ [tfm] (K765) $V_{max}: 14.93$ [tf] (K250) $M_{max}: 16.92$ [tfm] (K313)	$T_{max}: -2.36$ [tfm] (K1213) $V_{max}: 11.20$ [tf] (KB160) $M_{max}: -14.00$ [tfm] (K1153)
Kiriş Kesme Donatısı	$V_d < 0.22b_w d f_{cd}$ şartı tüm kirişlerde sağlanmıştır.	$V_e < 0.85b_w d \sqrt{f_{ck}}$ Şartı tüm kirişlerde sağlanmıştır.
Kiriş Kesme Güvenliği	$V_e < 0.22b_w d f_{cd}$ şartı tüm kirişlerde sağlanmıştır.	$V_d < 0.85b_w d \sqrt{f_{ck}}$ Tümkirişlerde sağlanmıştır.
Kolon Statik Sonuçları	$M_{max}: -1760.62$ [tfm] (PZ07) $T_{max}: -3.29$ [tfm] (P207) $V_{max}: 297.01$ [tf] (PB107) $N_{max}: -857.02$ [tf] (PB107)	$M_{max}: 870.56$ [tfm] (PZ07) $T_{max}: 4.92$ [tfm] (P307) $V_{max}: 292.76$ [tf] (P107) $N_{max}: -1030.81$ [tf] (PB107)
Kolon Kesme Güvenliği	$V_e \leq 0.22b_w d f_{cd}$ koşulu tüm kolonlarda sağlanmıştır.	$V_e \leq 0.85A_w \sqrt{f_{ck}}$ koşulu tüm kolonlarda sağlanmıştır.
Kolonlarda Maksimum Normal Kuvvet Kontrolü	$0.5A_c f_{ck} \geq N_{Dmax}$ koşulu tüm kolonlarda sağlanmıştır	$0.4A_c f_{ck} \geq N_{Dmax}$ koşulu tüm kolonlarda sağlanmıştır
Perde Statik Sonuçları	$M_{max}: 214.83$ [tfm] (PB119) $T_{max}: -13.71$ [tfm] (PB115) $V_{max}: 218.18$ [tf] (PB117) $N_{max}: -349.29$ [tf] (PB119)	$M_{max}: 222.80$ [tfm] (PZ20) $T_{max}: -9.36$ [tfm] (PB115) $V_{max}: 53.09$ [tf] (PB119) $N_{max}: -378.47$ [tf] (PZ20)

Perde Kesme Güvenliği	$V_e \leq 0.22A_{ch}f_{cd}$ şartı tüm perdelerde sağlanmıştır.	$V_e \leq V_{emax}$ şartı tüm perdelerde sağlanmıştır.
Radye Temel Statik Sonuçları	$M11_{(max)}$: -95.38 [tfm] $M22_{(max)}$: 54.82 [tfm]	$M11_{(max)}$: 91.57 [tfm] $M22_{(max)}$: 60.89 [tfm]
Radye Temel Betonarme Donatı Hesabı	Mevcut donatısı gerekenden az olan radye temeller var. DB136	Tüm radye temellerde gereken donatı koşulları sağlanmıştır.
Döşeme Tipi	Kaset döşeme	Kaset döşeme

BA kesit hesabında esas alınmak üzere en kesit ağırlık merkezinde hesaplanan eşdeğer çubuk tesirlerinden eğilme momenti kullanılarak, perde tabanında devrilme momenti

hesaplanmaktadır. Devrilme momentini oluşturan kuvvetler Tablo 9'da, deprem momentleri de Tablo 10'da belirtilmektedir.

Tablo 9: Deprem kuvvetleri

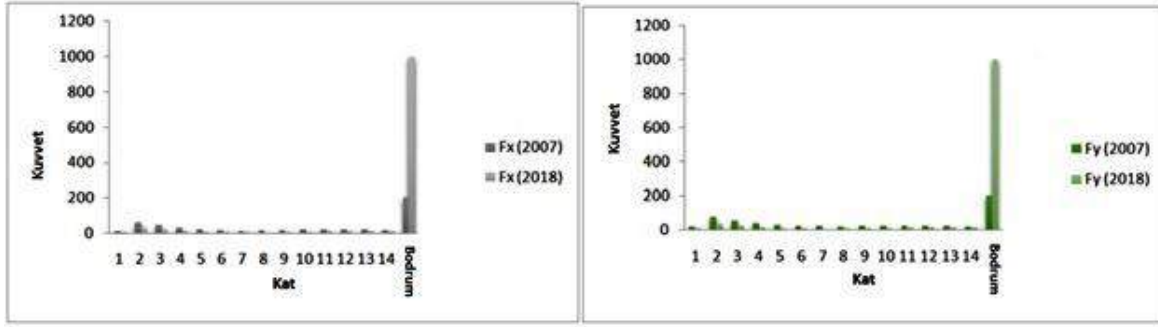
Kat	F_x (2007) [tf]	F_y (2007) [tf]	F_x (2018) [tf]	F_y (2018) [tf]
13	10.92	14.32	5.47	6.92
12	61.75	78.66	29.00	34.88
11	44.76	56.60	18.45	20.52
10	30.95	40.60	10.34	10.38
9	21.00	30.01	5.82	5.76
8	14.82	22.96	3.89	4.06
7	12.46	19.56	2.96	3.04
6	13.25	19.23	2.62	3.47
5	15.62	20.50	3.65	5.39
4	18.20	22.52	6.50	7.08
3	19.83	23.69	9.90	8.64
2	19.90	22.74	11.70	10.27
1	18.32	19.79	11.62	10.38
Zemin	14.32	14.80	10.89	9.68
Bodrum	199.25	199.25	996.27	996.27

Tablo 10: Deprem momentleri

Kat	M_x (2007) [tfm]	M_y (2007) [tf]	M_x (2018) [tfm]	M_y (2018) [tfm]
13	503.27	660.03	252.16	318.82
12	2636.68	3358.78	1238.1	1489.42
11	1776.82	2246.87	732.48	814.62
10	1135.99	1489.91	379.6	381.12
9	707.73	1011.46	195.99	194.18
8	454.86	704.76	119.57	126.60
7	345.21	541.80	82.02	84.21
6	327.33	474.86	64.64	85.70
5	338.93	444.89	79.12	116.95
4	340.33	421.09	121.55	132.43
3	311.36	371.97	155.37	135.61
2	252.77	288.76	148.58	130.42
1	177.74	191.99	112.7	100.64
Zemin	95.97	99.17	72.96	64.84
Bodrum	597.76	597.76	2988.82	2988.82
Toplam	10354.89	13204.94	6859.20	7305.76

Katlara ait X ve Y doğrultularındaki deprem kuvvetleri, F_x ve F_y , zemin kat dâhil onbeş kat boyunca azalma gösterirken bodrum katında bir artış meydana gelmiştir. X ve Y

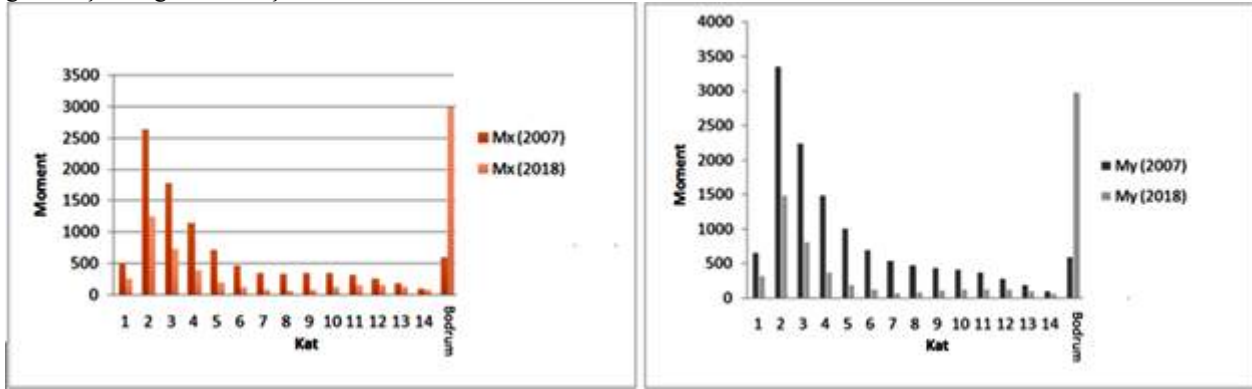
doğrultularında kuvvet değişim diyagramları Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: X ve Y doğrultularında kuvvet değişimleri

TBDY-2018 için X ve Y doğrultularında hesaplanan moment değerleri, zemin kat ve diğer üst katların tümünde DBYBHY-2007'ye göre düşük değerler almıştır. Ancak sadece bodrum katta

moment değeri TBDY-2018'e göre yapılan analiz sonucunda büyük çıkmıştır (Şekil 6).



Şekil 6: X ve Y doğrultuları için moment değişimi

Taşıyıcı sistem türüne göre belirlenen tasarım davranış katsayısı her iki yönetmelikte de bulunmaktadır. DBYBHY-2007'de sadece yapının süneklik durumuna göre belirlenirken, TBDY-2018'de ise bina yükseklik sınıfı (BYS) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) şartı da eklenmiştir. Belirtilen şartlar dâhilinde örnek yapının X ve Y doğrultusunda davranış katsayısı 6.49 ve 6.25 olurken, bu değer TBDY-2018'e göre 7.0 olarak belirlenmiştir. DBYBHY-2007'ye göre X ve Y doğrultularında taşıyıcı sistem davranış katsayısı hesaplanırken $R = 10-4.\alpha_s$ ile hesaplanmıştır. X doğrultusunda $\alpha_s=0.878$, Y doğrultusunda ise bu değer 0.938 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında X doğrultusu için davranış katsayısı 6.49, Y doğrultusu için 6.25 olarak dikkate alınmıştır.

Yükleme durumları 2007 yönetmeliğinde sadece E_x ve E_y boyutu üzerinde etki gösterirken, TBDY-2018'de ek olarak E_z doğrultusunda düşey deprem etkisi de dahil edilmiştir. Yapı üzerinde kesit kontrolü yapıldığında, DBYBHY-2007'de şartlarına göre DB136 bodrum döşemesi üzerinde kesit yetersizliği tespit edilirken güncel yönetmeliğe göre tüm kesit elemanları yeterli olarak tespit edilmiştir.

Hesap yöntemi seçiminde DBYBHY-2007'de belirtilen şartlara bağlı olarak yapıda dinamik hesap yöntemi kullanılırken, TBDY-2018'de ise tepki spektrumu yöntemi kullanılmıştır. Deprem etkisi altında yapıya etki eden toplam eşdeğer deprem yükü, V_t , X doğrultusunda DBYBHY-2007'de 324.15 tf, TBDY-2018 için 135.43 tf, Y doğrultusunda DBYBHY-2007'de 414.84 tf, TBDY-2018 bu değer 143.74 tf olarak hesaplanmıştır.

Deprem hesabı için kullanılması gereken bir diğer parametre olan yapının doğal titreşim periyodu DBYBHY-2007 için 1.31s olarak hesaplanırken bu değer güncel deprem yönetmeliğine göre 1.9 s olarak hesaplanmıştır. Hesaba katılan mod sayısı DBYBHY-2007 için 18, TBDY-2018 için de 15 olarak elde edilmiştir.

Temel tipi olarak radye temel kullanılmıştır. Radye temel statik hesaplarına bakıldığında moment değerleri, DBYBHY-2007 için $M_{11}=95.38$ tfm ve $M_{22}=54.82$ tfm olarak hesaplanmıştır. TBDY-2018 için $M_{11}=91.57$ tfm ve $M_{22}=60.89$ tfm değerlerini almıştır. Genel olarak moment değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Temel için yapılan donatı hesaplamalarında DBYBHY-2007 için donatı yetersizliği tespit edilirken, TBDY-2018 için tüm donatı koşulları sağlanmıştır.

4. Sonuçlar

Depreme dayanıklı yapı tasarım kurallarının zaman içerisinde değişime uğraması bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de de bu süreç, farklı tarihlerdeki deprem yönetmeliklerinden net bir şekilde anlaşılmaktadır. Her yeni yönetmeliğin yapısal anlamda bir kazanım olduğu gözden kaçmamalıdır.

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'de kullanılan son iki deprem yönetmeliği olan DBYBHY-2007 ile TBDY-2018 arasındaki farklar, aynı yapı tasarımı üzerindeki, yapısal analizler açısından irdelenmiştir. Her iki yönetmelikteki farklar, ele alınan konular itibarıyla madde madde gözden geçirilmiş ve 15 katlı bir yapının tasarımı sırasında ortaya çıkan farkları örneklemeli olarak

ortaya konulmuştur. Bu sırada ticari bir yazılım olan ideCAD yazılımının hem DBYBHY-2007 hem de TBDY-2018'e uygun olan sürümleri ile analiz yapılmıştır. Deprem yükleri altında yapılacak analiz ve değerlendirmeler ile bina tasarımında kullanılacak hesap yaklaşımlarında TBDY-2018 ile DBYBHY-2007 önemli ölçüde değişiklikler bulunmaktadır. Deprem tasarım sınıfı (DTS), bina yükseklik sınıfı (BYS), deprem yer hareket düzeyi (DD) ve düşey elastik tasarım spektrum eğrileri gibi kavramlar ilk kez TBDY-2018'de kendine yer bulmuştur. Yeni yönetmelik ile faya yakınlık durumu da dikkate alınmaya başlanmıştır. DBYBHY-2007'de performans kavramı ve performans düzeyleri sadece mevcut yapılar için geçerli iken TBDY-2018 ile bu kavram ve düzeyler yeni binalar için de kullanılmaya başlanmıştır. Her iki yönetmelikte hesap yöntemleri aynı başlıklar altında toplansa da yapısal hesaplamalarda önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar analiz sonuçlarına yansımıştır.

TBDY-2018 ile sabit deplasman platosu ve bu platoyu belirleyen TL ve TLD yani yatay ve düşey tasarım spektrumları için sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyotları belirtilmiştir. Yatay elastik tasarım spektrumu için bu değer TL=6.0 s ve düşey içinse TLD = 3.0 s olarak kabul edilmektedir. Bununla deplasman istemlerinin kontrolsüz olarak artması önlenmektedir.

Yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin oranına bağlı olarak hesap edilmektedir. DBYBHY-2007 bu oran %90 iken, TBDY-2018'de bu oran %95 olarak değişmiştir. Bu ve diğer değişimler hesaba katılan yeterli mod sayısını değiştirmiştir.

TBDY-2018'de BA taşıyıcı sistemler için kullanılan etkin kesit rijitliklerine bağlı hesaplanan yerdeğiştirme değerleri DBYBHY-2007'ye göre daha fazladır. Bu durum aynı zamanda sınır durum olarak belirtilen görelî kat öteleme değerlerini TBDY-2018'de artması anlamına gelmektedir. Bu açıdan her iki yönetmelik için hesaplanan burulma düzensizlik katsayıları, farklı değerler almıştır. Daha fazla yerdeğiştirme talepleri olduğundan TBDY-2018 için hesaplanan doğal titreşim periyodu DBYBHY-2007'ye göre daha büyük çıkmıştır.

Son deprem yönetmeliğindeki en büyük değişim, sahaya özgü deprem parametrelerinin hesaplanmasında görülmektedir. Sahaya özgü tasarım spektrumlarının kullanılması sırasında yapıdan beklenen yerdeğiştirme değerleri daha sağlıklı bir şekilde elde edilmektedir. DBYBHY-2007 için deprem tehlikesi bölgesel bazda bir değerlendirmeye tabi tutulurken, bu durum TBDY-2018'de coğrafik konuma özgü olarak özel olarak hesaplanmaktadır. DBYBHY-2007 için deprem bölgeleri için derecelendirme yapılmakta iken yeni yönetmelik ile bu sınıflandırma ortadan kalkmıştır. Bu bağlamda en büyük yer ivmesi değeri (PGA), çalışmada ele alınan örnek binanın yeri bakımından ele alındığında, DBYBHY-2007'de 0.3 g değeri, TBDY-2018'e göre kullanılan web uygulaması yardımı ile 0.149 g değerini almaktadır. Yeni deprem yönetmeliği ile etkin yer ivme katsayısı (A_0)'nın yerine kısa periyot spektral ivme katsayısı (S_0) ve 1.0 s için spektral ivme katsayısı (S_1) kullanılmaya başlanmıştır.

DBYBHY-2007'de zeminler grup ve sınıf olarak ayrı ayrı isimlendirilmekte iken güncel yönetmelik ile tek çatı altında toplanmıştır. Daha önce dört farklı zemin sınıfı var iken yeni yönetmelik ile altıya çıkmıştır. Zemin sınıfları ve grupları

birleştirilmiş altı farklı yerel zemin sınıfı ifade edilmiştir. Yerel zemin koşullarının etkisini daha belirgin bir şekilde ortaya koymak adına yerel zemin etki katsayıları (F_s ve F_1) güncel yönetmelikte kendine yer bulmuştur.

Yapısal hesaplamalara esas olacak deprem parametreleri kullanıcıdan bağımsız olarak doğrudan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web uygulaması hayata geçirilmiştir. Bu uygulama yerel zemin sınıfının ZF olması durumu hariç olmak üzere diğer 5 farklı yerel zemin koşulu için doğrudan kullanılabilir. ZF için sahaya özel araştırma ve değerlendirme yapılması gerekmektedir. Yerel zemin koşullarının yapılarıdaki deprem etkilerini doğrudan etkilediğinin bir sonucu olarak güncel yönetmelik yerel zemin koşullarına çok daha fazla önem vermektedir. Güncel deprem yönetmeliğinde, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak yatay elastik tasarım ivme spektrumu SDS değerine bağlı olarak değişken pik değerler alınabilmektedir. Ancak 2007 yönetmeliğinde maksimum ivme değeri spektrumda 2.5g ile sınırlandırılmıştır. Bu bir önceki yönetmelikte köşe periyot değerleri sabit değerler almakta iken güncel yönetmelikte SDS ve SD1 katsayılarına bağlı olarak coğrafik konuma göre değişkenlik göstermektedir. Bunun yanı sıra zemin sınıflarından dolayı dikkate alınan ivme katsayıları da değişmiştir. Bu ve buna benzer değişikliklerden dolayı spektrum karakteristik periyotları ve spektrum eğrilerindeki değişikliklerde kaçınılmaz olmuştur.

Malzeme dayanımı açısından DBYBHY-2007'de öngörülen beton sınıfları C20-C50 aralığında iken yeni yönetmelik ile C25-C80 olarak belirlenmiştir. Beton üst sınıfının değişimi gelişen beton teknolojisi ile doğrudan ilişkilidir. Beton alt sınıfının değişiminin de hem bu gelişme hem de betonarme yapılarda hasarın doğrudan beton dayanımı ile ilgili olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca taşıyıcı sistem eleman boyutları ile ilgilide önemli değişiklikler olmuştur. Örneğin dikdörtgen kesitli bir kolon için minimum boyut 250×300 mm iken güncel yönetmelik ile 300×300 mm olmuştur. Dairesel kesitli kolonlarda ise çap 300 mm'den 350 mm'ye çıkarılmıştır. Betonarme perdelerde 200 mm olan minimum kalınlık değeri 250 mm'ye çıkarılırken kenar oranı 7 değerinden 6'ya düşürülmüştür. Kolon, kiriş ve perdeler için kesme kuvveti hesaplanırken DBYBHY-2007'den farklı olarak TBDY-2018'de ek olarak dayanım fazlalığı katsayısı (D) kullanılmaya başlanmıştır. Dayanım fazlalığı katsayısı BA yapılarda $D \geq 2$ olarak alınacağından daha büyük kesme kuvvetlerinin dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir. Bu durum taşıyıcı sistem elemanlarında deprem sonrası gözlemlenen kesme hasarlarının dikkate alındığının bir göstergesidir. Güncel yönetmelik ile depremlerde yaygın olarak gözlemlenen hasarların önlenmesi için bir anlamda çözümler sunulmuştur.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda İnşaat Yük. Müh. Kübra ADAR tarafından tamamlanan "2007 Deprem Yönetmeliği'nin 2018 Deprem Yönetmeliği ile Karşılaştırılması ve Deprem Yükü Hesabındaki Farklar" adlı yüksek lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır. IdeCAD yazılımının yeni versiyonunu kullanma konusunda yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. M.Cihan AYDIN'a teşekkür ederiz.

Kaynakça

- ABYYHY (1968). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1968).
- ABYYHY (1975). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1975).
- ABYYHY (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1998).
- AFAD (2018). <https://deprem.afad.gov.tr/> (Erişim tarihi: 12.05.2019)
- Aksoylu, C., & Arslan, M.H. (2021). 2007 ve 2019 Deprem Yönetmeliklerinde Betonarme Binalar İçin Yer Alan Farklı Deprem Kuvveti Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması Olarak İrdelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 359-374.
- Aksoylu, C., Mobark, A., Arslan, M.H., & Erkan, İ.H (2020). A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la construcción*, 19(2), 282-305.
- Aktas, G., & Karasin, A. (2014). Experimental confirmation for the validity of Ritz method in structural dynamic analysis. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 52.
- Alyamaç, K.E., & Erdoğan, A.S., (2005). Geçmişten günümüze afet yönetmelikleri ve uygulamada karşılaşılan tasarım hataları. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 707-715.
- Borcherdt, R.D. (2004). A theoretical model for site coefficients in building code provisions. In *Procs. 13th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 1-6).
- Bozer, A. (2020). Tasarım Spektral İvme Katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 393-404.
- Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Yılmaz, H., & Arısoy M.Ö. (2013). Preliminary seismic microzonation of Sivas city (Turkey) using micro tremor and refraction microtremor (ReMi) measurements, *Journal of Seismology*, 17(2), 425-435.
- Dalyan, İ., & Şahin, B. (2019). Mevcut Betonarme Bir Bina'nın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Deprem Yükleri Altındaki Taşıyıcı Sistem Performansının Değerlendirilmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2), 134-147.
- DBYYHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. T.C. Resmi Gazete; 26454, 2007.
- Emlakansiklopedisi (2018). http://emlakansiklopedisi.com/wiki/deprem_yonetmeliği (Erişim tarihi: 05.10.2018)
- IdeCAD (2013). *İdeCAD Statik V7.020*, IdeYAPI, Türkiye.
- Işık, E., & Kutanis, M. (2015). Determination of local site-specific spectra using probabilistic seismic hazard analysis for Bitlis Province, Turkey, *Earth Sciences Research Journal*, 19(2), 129-134.
- Işık, E., Büyüksaraç, A., & Aydın, M.C. (2016). Effects of local soil conditions on earthquake damages. *Journal of Current Construction Issues. Civil Engineering Present Problems, Innovative Solutions-Sustainable Development in Const.*, ed. Jarosław Górecki, BGJ Consulting, 191-198.
- Işık, E., Büyüksaraç, A., Ekinci, Y.L., Aydın, M.C., & Harirchian, E. (2020). The Effect of Site-Specific Design Spectrum on Earthquake-Building Parameters: A Case Study from the Marmara Region (NW Turkey). *Applied Sciences*, 10(20), 7247.
- Işık, E., Ekinci, Y.L., Sayıl, N., Büyüksaraç, A., & Aydın, M.C. (2021). Time-dependent model for earthquake occurrence and effects of design spectra on structural performance: a case study from the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(2).
- Işık, E., Karaşin, İ.B., & Ulu, A.E. (2020). Eğimli Zeminlerde İnşa Edilen Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 162-170.
- Işık, E., Özdemir, M., Karaşin, İ.B., & Karaşin, A., (2019). Betonarme yapılarda kullanılan malzeme modellerinin karşılaştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 968-984.
- Karaşin, İ.B., & Işık, E. (2017). Farklı yapı davranış katsayıları için zemin koşullarının yapı performansına etkisi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 8(4), 661-673.
- Karaşin, İ.B., Işık, E., Demirci, A., & Aydın, M.C. (2020). Coğrafi Konuma Özel Tasarım Spektrumlarının Betonarme Yapı Performansına Etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1319-1330.
- Kemaloğlu, M. (2015). Türkiye'de afet yönetiminin tarihi ve yasal gelişimi. *Akademik Bakış Dergisi*, 52, 126-147.
- Keskin, E., & Bozdoğan, K.B. (2018). 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 74-90.
- Nemutlu, Ö.F., Balun, B., Benli, A., & Sarı, A. (2020). Bingöl ve Elazığ İlleri Özelinde 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre İvme Spektrumlarının Değişiminin İncelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1341-1356.
- Över, S., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., & Filazi, A. (2011). Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 62(2), 313-326.
- Öztürk, M. (2018). 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile İlgili İç Anadolu Bölgesi Bazında Bir Değerlendirme, *Selçuk Teknik Dergisi*, 17(2), 31-42.
- Özyurt, M. Z., & Hayvalı, A.Z. (2020). Bir yönde perdeli 15 katlı yapının dinamik davranışının incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 369-380.
- Parlar, (2019). Türkiye'deki tüm deprem yönetmelikleri. www.parlar.com.tr
- Sümer, Y., & Hamsici, M. (2020). Çok Katlı Betonarme Binalarda 2018 Deprem Yönetmeliği İle Tanımlanan Spektrum Eğrilerinin Etkisi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 349-354.
- TBDY (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete; 30364, 2018.
- Ulutaş, H. (2019). DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 351-359.
- Yakut, A., Erberik, M.A., Ilki, A., Sucuoğlu, H., & Akkar, S. (2014). Rapid seismic assessment procedures for the Turkish Building Stock. In *Seismic Evaluation and Rehabilitation of Structures* (pp. 15-35). Springer, Cham.



Nar Kabuklarının Döner Tambur Kompostlama Sisteminde Biyoaktivatör İle Kompostlanması

Kamil Ekinci^{1*}, Cenk Soyöz², Barbaros S. Kumbul¹, Rıfat Yıldırım³, Şerafettin Yazıcı⁴, Hilal Rüzgar⁴

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7083-5199, 0000-0002-7379-7597), kamilekinci@isparta.edu.tr, barbaroskumbul@gmail.com

² Cenk Soyöz MTF Makine Kimya Otomasyon, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9221-2382), cnk25@hotmail.com

³ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4456-9448), rifatyildirim@isparta.edu.tr

⁴ Tunay Gıda San. ve Tic. A.Ş., Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5030-1202, 0000-0002-8646-3425), s.yazici@tunay.com.tr, hilal.ruzgar@tunay.com.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.908927)

ATIF/REFERENCE: Ekinci, E., Soyöz, C., Kumbul, B.S., Yıldırım, R., Yazıcı, Ş., Rüzgar, H. (2021). Nar Kabuklarının Döner Tambur Kompostlama Sisteminde Biyoaktivatör İle Kompostlanması. *European Journal of Science and Technology*, (25), 318-324.

Öz

Bu çalışma, nar meyvesinin işlenmesi sonrası atık olarak çıkan nar kabuklarının, biyoaktivatör ilavesiyle kompostlaştırma sürecinin, kompostlaşma parametreleri üzerine etkisini belirlemek amacı ile yürütülmüştür. Kompostlaştırma işlemi için 0.38 m³ hacimli egzoz gazı geri dönüşümlü ve otomatik kontrollü döner tambur kompostlaştırma sistemi kullanılmıştır. Denemeler süresince; sıcaklık, CO₂ konsantrasyonu, kompost materyali nem içeriği, organik madde miktarı, pH düzeyi, elektriksel iletkenlik değeri, toplam azot ve karbon değişimleri ölçülmüştür. Deneyler toplam 43 gün sürerken, kompostlaşma aşaması 12, olgunlaşma aşaması ise 31 gün sürmüştür. Biyoaktivatör ilaveli reaktörde 55 °C sıcaklığa altıncı günde ulaşıldığı ve bu sıcaklığın yaklaşık 0.25 gün (6 saat) korunabildiği tespit edilmiştir. Biyoaktivatör ilavesiz reaktör içerisinde maksimum 60 °C sıcaklığa ulaşılmış, bu sıcaklığın yaklaşık 1.5 gün korunduğu, 55 °C'nin üzerindeki sıcaklığın ise sadece 2 gün sürdüğü gözlenmiştir. Organik madde kayıplarının, biyoaktivatör ilaveli ve ilavesiz reaktörlerde, kompostlaşma süreci ve olgunlaşma süreci sonunda sırasıyla; %59.24-%14.63 ve %64.32-%2.04 olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, kompostlaşma işleminde biyoaktivatör kullanımının kompostlama performans parametreleri üzerinde bir fark yaratmadığı vurgulanabilir. Bunun yanında, kompost olgunlaşma başlangıcında yapılacak biyoaktivatör ilavesiyle kompostun daha hızlı bir şekilde olgunlaşabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nar işleme atıkları, Kompostlama, Döner tambur kompostlama, Egzoz gazı geri dönüşümü, Biyoaktivatör

Composting of Pomegranate Peels with Bioactivator in Rotary Drum Composting System

Abstract

This study was carried out to determine the effect of composting of pomegranate peels left after processing pomegranate fruit with bioactivator. In the study, 0.38 m³-automatic controlled rotary drum composting system with exhaust gas recycling was used in the composting process. During the experiment, temperature, CO₂ concentration, compost moisture, organic matter, pH, electrical conductivity, total nitrogen and carbon changes were measured. The experiments took 43 days, the composting stage was 12 days, and the maturation stage was 31 days. Results showed that the reactor with bioactivator reached the temperature of 55 °C on the 6th day and maintained this temperature for about 0.25 days (6 hours). The reactor without bioactivator reached a temperature of 60 °C, but it was able to maintain this temperature for about 1.5 days and the temperature above 55 °C was only able to maintain for 2 days. Organic matter losses were determined as 59.24% and 14.63% in the reactor with bioactivator, 64.32% and 2.04% in the reactor without bioactivator, respectively, at the end of the composting process and maturation process. In conclusion, when the use of bioactivators in composting process is evaluated in terms of composting performance parameters (compost temperature, CO₂ concentration, moisture, organic matter, pH, electrical conductivity, C/N ratio), it can be said that the bioactivator does not make a difference. In addition, it can be said that the addition of bioactivators can be made at the beginning of compost maturation to help the compost mature faster.

Keywords: Pomegranate processing waste, Composting, Rotary drum composting, Exhaust gas recycling, Bioactivator

* Sorumlu Yazar: kamilekinci@isparta.edu.tr

1. Giriş

Nar, ülkemizde genellikle Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yetiştirilmektedir. Nar meyvesi, ekonomik getirisi yüksek, ülke çapında yaygın olarak yetiştirilen ve meyve suyu endüstrisinde en çok kullanılan ürünlerdendir. Meyve suyu işleme tesislerine getirilen meyveler hammadde kabulü ile prosese girmektedir. İzleyen aşamada, zedelenmiş meyvelerin ve yabancı maddelerin elenmesi, hemen ardından yıkama işlemi gerçekleştirilmektedir. Yıkanan meyveler, konveyör bant aracılığı ile meyve parçalama bölümüne iletilmektedir. Meyve suyu tesislerinde işlenen meyvelerden proses sonrası binlerce ton nar işleme atığı oluşmaktadır. Meyve suyu tesislerinde oluşan bu atıklar genellikle depolama alanlarına veya araziye dökülmektedir. Atık yönetiminin etkin ve sürdürülebilir olması için atıkların özelliklerine uygun alternatif bertaraf yöntemleri ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Meyve suyu prosesinden çıkan bu atıkların homojen yapıda ve diğer atıklarla karışmamış olması, kompostlaştırma için önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Bununla birlikte, nar işleme atıklarının yönetiminde bölgesel ve mevsimlik olarak atık potansiyelinin değişkenliği dikkate alınmalıdır (Şevik vd., 2018a).

Kompostlaştırma işlemi ile organik atıklar ayrıştırılarak toprak iyileştirici özellikler taşıyan toprak benzeri bir maddeye dönüştürülmektedir. Özellikle son yıllarda benzer yollarla üretilen kompostun, tarımsal üretimde kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Aynı zamanda kompostlama ile depolama alanlarında saklanması zorunlu olan atık miktarı azaltılmakta ve bu yolla olası çevre problemlerinin önüne geçilmiş olmaktadır. Türkiye’de nar üretimi her geçen yıl artış göstermektedir. Narın işlenmesi sonucu işlenen toplam nar miktarının ağırlıkça yaklaşık yarısı kadar atık oluşmaktadır. Özetle, önemli bir kompost potansiyeli taşıyan nar atıklarının, atık yönetimi ilkelerine uygun olarak toprak için yararlı bir maddeye dönüştürülmesinde çevre güvenliği ve insan sağlığı açısından çok önemli faydaları bulunmaktadır (Şevik vd., 2018a; Kanat ve Ergüven, 2020).

Tarımsal atıkların kompostlaştırılmasında farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, döner tambur ile kompostlama, son zamanlarda üzerinde yoğun araştırmalar yapılan bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. Döner tamburlu kompostlaştırıcılar, mobil kompostlama için etkin ve yaygınlaşma olasılığı yüksek bir tekniktir. Bu sistem; silindirik ve uzun eksenli yere paralel yapıda, merkezinde dönen tambur içinde materyal akışının gerçekleştiği bir reaktör sistemidir. Tambur içerisindeki atık materyal eşit, kontrollü yüksek ortam sıcaklığında ve hızlı bir şekilde kompostlaştırılmaktadır. Tambur içerisindeki materyal, devamlı ya da tercihen seçilen aralıklarla yavaş bir şekilde döndürülmekte, tamburun dönü hareketiyle materyal silindir içerisinde ilerletilmektedir. Temiz hava, ürün çıkış yönünden giriş yönüne doğru yönlendirilmekte, kirli hava ürün giriş yönünden dışarı atılmaktadır. Sistemin en büyük avantajı, kompostlaştırma süresinin diğer yöntemlere kıyasla kısa olmasıdır. Döner tambur, homojen bir ürün elde etmek için kompostun havalandırılmasını ve karıştırılmasını sağlamakta, çıkan ürün stabil, homojen ve kaliteli olmaktadır. Sistemden ortama koku ve sızıntı suyu çıkışı gerçekleşmemektedir (Soyöz, 2018).

Kompostlama sürecindeki sorunlardan biri, sürecin tamamlanması için gereken sürenin uzun olmasıdır. Örneğin, küçük ölçekli yığın kompostlama yöntemi kullanılarak kompost üretilmesi üç ila dört ay sürmektedir. Bu sürecin hızlandırılması için kullanılan yöntemlerden biri biyoaktivatör kullanımıdır. Nitekim, Sadik vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, hayvan

gübresini (bıldırcın, keçi ve koyun gübresini), bitkisel atıklar (hurma ağaçları, narenciye ve zeytin ağaçları budama atıkları) ve yeşil peyzaj çimlerini sırasıyla %50, %25 ve % 25 oranlarında karıştırarak yığın oluşturmuş ve BZT®Compost Activator ilave etmiştir. Aynı bileşen ile oluşturulan biyoaktivatörsüz ikinci yığın, kontrol olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak, BZT®Compost Activator ilavesinin kompostlama işlemini biyoaktivatör içermeyen yığma göre hızlandırarak 68-180 günden (geleneksel kompostlama yöntemine göre) 35 güne düşürdüğü tespit edilmiştir. Diğer taraftan, Saravanan vd. (2013) gıda atıklarının kompostlama sürecinin Etkili Mikroorganizma (EM) kullanımı ile 2 aydan 45 güne düşürüldüğü bildirmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, nar kabuklarının egzoz gazı geri dönüşümlü döner tambur kompostlaştırma sistemini kullanarak kompostlaştırılmasında biyoaktivatörün (BIOKOR BZT®Compost Aktivatör) etkisini belirlemektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Nar meyvesinin meyve suyuna işlenmesinden sonra atık olarak çıkan nar kabuklarının kompostlaştırmayla ilişkili analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan nar kabukları Erzincan ilinde faaliyet gösteren Tunay Gıda meyve işleme tesisinden temin edilmiş, kısmi kurutma ile su içeriği azaltılmış ve parçalanmıştır.

Tablo 1. Atık nar kabuğunun fiziko-kimyasal analiz sonuçları

Parametre	Nar kabuğu
Nem içeriği (yaş baz, %)	60.00
Organik madde içeriği (%)	92.62
pH	5.35
Elektriksel iletkenlik (EC, dS/m)	2.40
Toplam karbon (C, %)	41.49
Toplam azot (N, %)	1.35
C/N	30.73

Egzoz gazı geri dönüşümlü döner tambur kompostlama sistemi; uzunluğu 105 cm, çapı 82 cm ve et kalınlığı 10 cm özel koruge silindirik boru malzemedem imal edilmiştir (Şekil 1). Silindirin hacmi 0.38 m³tür. Döner tambur kompostlama sisteminin ısı izolasyonu, 5 cm kalınlığındaki taş yünü ile yapılmıştır. Döner tambur, 0.55 kW’lık bir elektrik motoru ile tahrik edilmiştir. Elektrik motoruna redüktör (10 devir/dakika) bağlıdır. Tambur gövdesi dönüş hareketi 1 min⁻¹ olacak şekilde mekanik olarak ayarlanmıştır. Döner tambura bir havalandırma fanı (0.55 kW ve 2800 d/d) ile hava basılmıştır. Tamburun içinde havanın dağıtımı, iç yüzey boyunca yerleştirilmiş her biri 2.54 cm çapında beş adet PPRC boru kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Döner tamburdan çıkan egzoz havası, ortam havasıyla karıştırılıp egzoz gazı geri dönüşüm sisteminden yararlanılarak tekrar tambur içerisine yönlendirilmiştir. Döner tambur, havalandırma kontrolü ve egzoz gazı geri dönüşüm oranının karar parametresi olarak kullanılması PLC sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Dış ortam ve tambur içi kompost sıcaklığı J tipi ısı çiftler kullanılarak ölçülmüştür (dakikada bir). CO₂ konsantrasyonunu, CO₂ sensörü (GMT220, Vaisala), kompost kütesinin zamana bağlı değişimi ise, döner tambur çerçevesinin altına yerleştirilmiş dört adet yük hücresiyle (load cells) oluşturulan tambur tartı sisteminden yararlanılarak ölçülmüştür.

Denemelerde, nar kabuklarının dışında herhangi bir organik materyal kullanılmamış, nar kabuklarının anılan sistemde kompostlaştırılmasında tek bir karışım denenmiştir. Bunun yanında, pH dengesi için karışıma kuru ağırlık bazında %6.59 oranında sönmemiş kireç (CaO) eklenmiştir. Nar kabuğunun C/N oranı %30.73 olarak belirlenmiştir ve bu oran ideal kompostlaştırma oranı civarındadır. Çalışmada, biyoaktivatör olarak BOKOR BZT@Compost Aktivatör'ü kullanılmıştır.

Çalışmada, biyoaktivatör olarak BOKOR BZT@Compost Aktivatör'ü kullanılmış olup Design Group Danışmanlık Hizmetleri San. ve Tic. A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Biyoaktivatör, peynir altı suyu bazlı bir taşıyıcıdaki mikroorganizmaların (vejetatif ve spor formları) ve enzimlerin bir karışımıdır. Türler *Bacillus sp.* ve *Lactobacillus sp.* cinsindedir. Enzimler, mikroorganizmalar için destekleyici olarak ilave edilmiştir. Biyoaktivatör; 100 kg kuru maddeye 25 gr aktivatör suda çözündürülerek spring yöntemiyle karışımlara ilave edilmiştir. Denemeler, biyoaktivatörlü (Deneme-1) ve biyoaktivatörsüz (Deneme-2) olmak üzere 2 aşamada yürütülmüştür. Deneme süresince, sıcaklık, CO₂ konsantrasyonu ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 1. Egzoz gazı geri dönüşümlü döner tambur kompostlaştırma sistemi

2.2. Metot

Denemeler süresince, kompost nem içeriği, organik madde içeriği, pH, elektriksel iletkenlik (EC), C, N ve C/N oranı değerleri takip edilmiştir.

Numunelerin nem içeriği 70 ± 5 °C'de 3 gün süren kurutma sonucunda, organik madde içeriği ise 550 °C'de ABD Tarım Bakanlığı ve ABD Kompostlama Konseyi tarafından önerilen yönteme göre belirlenmiştir (TMECC, 2002). Numunelerin pH ve EC değerlerinin belirlenmesinde; 1:10 (w/v) katı: su oranında 20 dakika boyunca 180 min⁻¹ devir altında çalkalama yapıp ekstrakte elde edilmiş, pH ve EC metreler kullanılmıştır (Model

WTW pH 720 ve WTW Multi 340i. Toplam C ve N içerikleri, elemental analizör (Vario MACRO CN Elemental analizör) kullanılarak ölçülmüştür.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

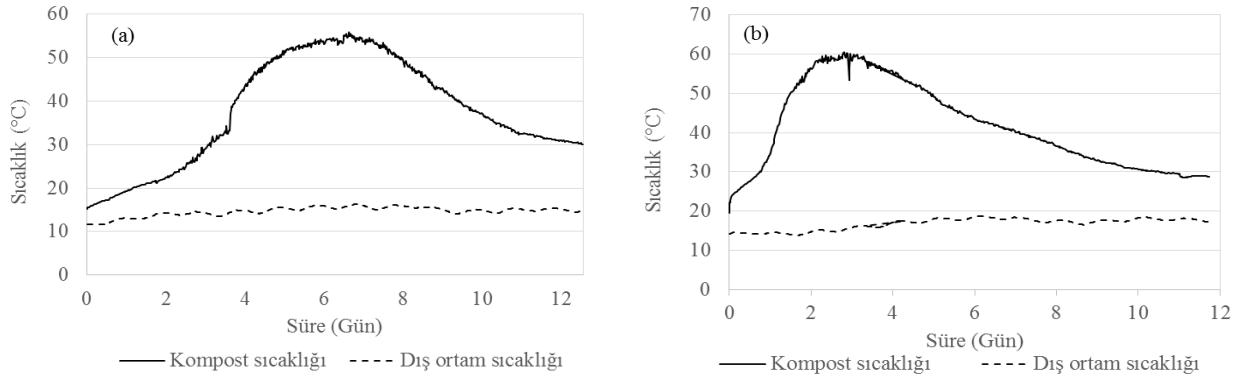
3.1. Kompost Sıcaklığı Değişimi

Kompostlaştırılan materyal içerisindeki sıcaklık değişimi izlenerek sürecin hedeflenen doğrultuda ilerleyip ilerlemediği kontrol edilmektedir (Sadev vd., 2014; Villar vd., 2016). Kompostlama kütlesi içindeki sıcaklık, biyolojik işlemlerin gerçekleştiği hızı belirlerken (Hassen vd., 2001) aynı zamanda mezofilik ve termofilik bozunma evrelerinde aktif olan mikrobiyal popülasyonların varlığı konusunda en iyi göstergedir (Bosco vd., 2018). Çalışmada kompost materyal yığın içi sıcaklık ölçümleri 12 gün boyunca yapılmıştır. Kompostlaştırma işleminde sıcaklık, organik maddenin mikrobiyolojik olarak parçalanması sonucu yükselmiştir (Kadir vd., 2017). Mezofilik dönem; biyoaktivatörlü ve biyoaktivatörsüz reaktörlerde yaklaşık olarak sırasıyla 4. ve 1.5 günde başlamıştır. Termofilik faz ise (> 45 °C) Şekil 2'de görüldüğü üzere, biyoaktivatörlü reaktörde bulunan karışımda 4. günden sonra, biyoaktivatörsüz reaktörde bulunan karışımda ise 2. günden sonra gözlenmiştir. 55 °C olarak en yüksek sıcaklık değerine, biyoaktivatörlü ve biyoaktivatörsüz reaktörlerde sırasıyla, 6. ve 2. günde ulaşılmıştır.

Kompost Tebliği Ek-2 listesinde bulunan "kompost kalite parametreleri" tablosunda yığının hijyen değerleri açısından tebliğe uygunluğu için kesintisiz bir şekilde 55 °C'de 2 hafta, 60 °C'de ise 1 hafta süresince işlem görmüş olması gerektiği belirtilmektedir. Ancak, İslam vd., (2016) ve Flynn ve Wood, (1996) tarafından yapılan çalışmalarda, malzemenin sterilizasyon verimliliği değerlendirilirken yığının en az 3 gün boyunca 55 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda işlem görmesinin yeterli olacağı bildirilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde biyoaktivatörlü reaktörün 55 °C sıcaklığa 6. günde ulaştığı ve bu sıcaklığı yaklaşık 0.25 gün koruyabildiği anlaşılmaktadır. Biyoaktivatörsüz reaktör ise, 60 °C sıcaklığa ulaşmış ancak bu sıcaklığı yaklaşık 1.5 gün ve 55 °C'nin üzerindeki sıcaklığını ise sadece 2 gün koruyabilmiştir. Bu nedenle hem Kompost tebliği hem de yapılan çalışmalara göre her iki yığının da stabilizasyon sıcaklık değerlerini gerektiği kadar koruyamadığı belirlenmiştir. Biyoaktivatörsüz reaktörün sıcaklık azalışı yaklaşık olarak 8 gün devam etmiştir. Bu değer, biyoaktivatörlü reaktöre kıyasla daha uzundur. Her iki reaktör de 30 °C civarına kadar soğumuştur.

3.2. CO₂ Konsantrasyonu Değişimi

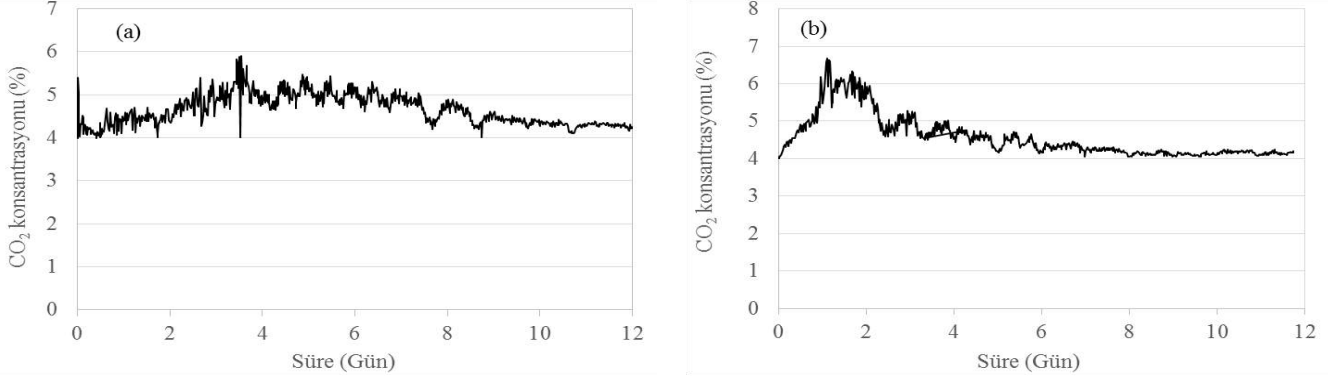
Kompostlaştırma işlemi sırasında CO₂ çıkışı, mikrobiyal popülasyon aktivitesinin bir göstergesidir (Henry ve Harrison, 1996; Luiza vd., 2014; Ojo vd., 2018).



Şekil 2. Kompost sıcaklığı değişimi (a: Biyoaktivatörlü, b: Biyoaktivatörsüz)

Şekil 3 incelendiğinde, biyoaktivatörlü reaktörde CO₂ çıkışının, sıcaklık artışında gözlemlendiği gibi, 4. günde en yüksek seviyeye ulaştığı ve ardından azalarak %4 civarına kadar düştüğü belirlenmiştir. Biyoaktivatörsüz reaktörde ise 2. güne kadar artan oranda CO₂ çıkışı ölçülmüş denemenin sonuna doğru salınımın sabitlendiği ve diğer reaktörde olduğu gibi %4 civarına indiği gözlemlenmiştir. Bu artış ve azalışların kompostlamada görev yapan mikroorganizmaların sayısı ile orantılı olduğu bilinmekle birlikte,

(Henry ve Harrison, 1996; Luiza vd., 2014; Ojo vd., 2018), bu duruma gerekçe olarak bakterilerin substrat varlığında hızlı üremeleri ve bu süreçte hem sıcaklığın hem de CO₂ salınımlarında artış olduğu gösterilebilir. Diğer yandan, reaktörlerdeki CO₂ oranlarının %4'ün altına düşmemesinin, karışım içerisinde bakteri faaliyetlerinin devam ettiğinin bir göstergesi olduğu söylenebilir.

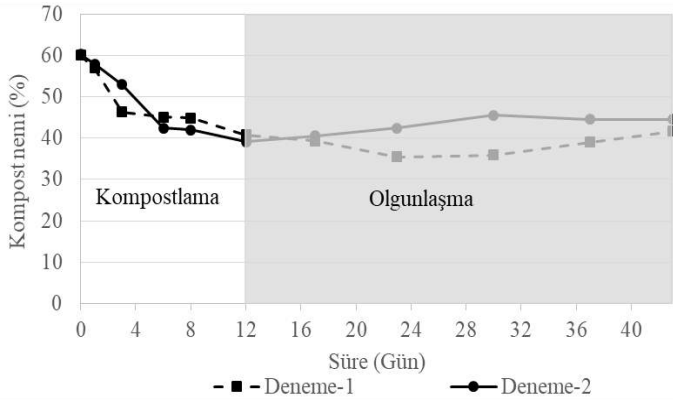


Şekil 3. CO₂ Konsantrasyonunun süreye bağlı değişimi (a: Biyoaktivatörlü, b: Biyoaktivatörsüz)

3.3. Kompost Nemi Değişimi

Kompostlaştırılan karışımın nem içeriği, organik atıkların mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması için önemli bir parametredir. Aktif kompostlaştırma sırasında sıcaklığın yükselmesiyle buharlaşma artmakta ve yığın içi nem içeriğinde düşüş meydana gelmektedir (Muntjeer vd., 2014). Buna ilaveten, reaktörlerdeki nem içeriği değişimleri; organik maddenin ayrışması, sızıntı suyu oluşumu ve yoğunlaşma gibi nedenlerle meydana gelmektedir (Şevik vd., 2018b). Kompostlaştırma işleminden sonra, olgunlaşma aşamasında da yığın içi nem içeriği ölçümleri sürdürülmüştür. Yapılan nem içeriği ölçüm sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, 12 günlük kompostlaştırma süresince her iki reaktör içerisindeki yığın nem içeriği değişimi görülmektedir. Kompostlaştırma işlemi sonunda her iki reaktörde bulunan kompost karışımlarının nem içeriklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Biyoaktivatör ilaveli reaktörden çıkan karışımın nemi, olgunlaşma aşamasında bir süre daha azalmış daha sonra bir miktar artış göstermiştir. Buna karşın, biyoaktivatör ilavesiz

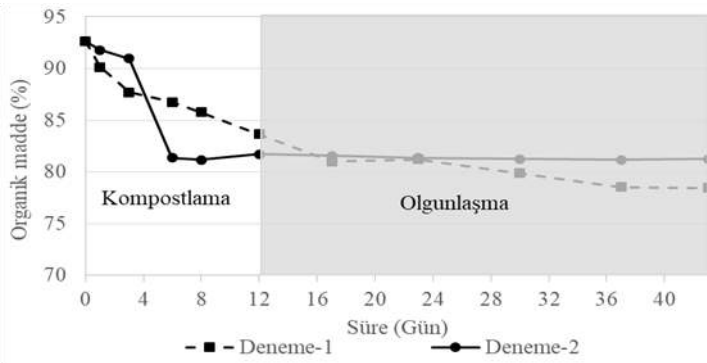
reaktörde tersine nem içeriği 30. güne kadar artış göstermiş sonrasında azalarak %44.61 seviyelerine kadar inmiştir. Reaktörlerde kompostlaştırma aşamasındaki nem azalışlarının sebebi; yüksek düzeyde ayrışmanın bir sonucu olarak, metabolik ısı enerji üretimi ve buna bağlı olarak buharlaşmadaki artış olarak gösterilebilir. Biyoaktivatör ilaveli (Deneme-1) numunelerin olgunlaşma aşamasında nem içeriği azalışının sürmesi, kompostlaştırma işleminin henüz tamamlanmadığını diğer bir ifadeyle, kompost karışımının sıcaklığının henüz tam olarak düşmediğinin göstergesi olarak değerlendirilebilir. Aynı reaktör için nem içeriği düşüşünün hemen ardından tekrar artışın oluşması da Muntjeer vd., (2014) belirttiği gibi kompostun olgunlaştırıldığı ortam havasının nem içeriği ile ilişkilendirilebilir. Biyoaktivatör ilavesiz (Deneme-2) reaktörde nem içeriği değerinin olgunlaşma aşamasında artışının nedeni; olgunlaşmanın ilk aşamasında, kompostlaşan karışımın ortam nem içeriğiyle açıklanabilir. Sonrasında nem içeriğindeki azalışının, ortam sıcaklığındaki artış nedeniyle gerçekleştiği sonucuna varılabilir.



Şekil 4. Kompost neminin süreye bağlı değişimi

3.4. Kompost Organik Madde Değişimi

Organik maddenin kolay ayrışabilir kısmının mikroorganizmalar tarafından tüketilmesi sonucu, kompost sıcaklığı hızlı bir şekilde yükselmektedir (Şekil 5) (Muntjeer vd., 2014). Diğer bir ifadeyle, birim kompost materyal hacmi içerisindeki organik madde azalmasının maksimum olduğu dönem, kompostlaşma aşamasında sıcaklığın en yüksek olduğu aralığa denk gelmektedir. Kompostlaşma aşamasında organik madde miktarındaki, nispeten fazla olan azalış, olgunlaşma aşamasında da (Deneme-1'deki süreçte gözlemlendiği gibi) devam etmiştir. Biyoaktivatör ilavesiz reaktörde (Deneme-2) sıcaklıkların maksimum değerlere ulaştığı 2-4 gün aralığında, organik maddelerin yüksek miktarda azalması, Muntjeer vd., (2014) tarafından öne sürülen, 'sıcaklığın artmasıyla, organik madde mikroorganizmalar tarafından daha kolay tüketilir' yaklaşımını desteklemektedir. Biyoaktivatör ilaveli denemede organik madde miktarındaki azalmanın daha orantılı ve düzgün bir eğri şeklinde gerçekleştiği, biyoaktivatör ilavesiz denemede ise yüksek miktarda organik madde değişiminin kısa sürede gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Muntjeer vd., 2014).



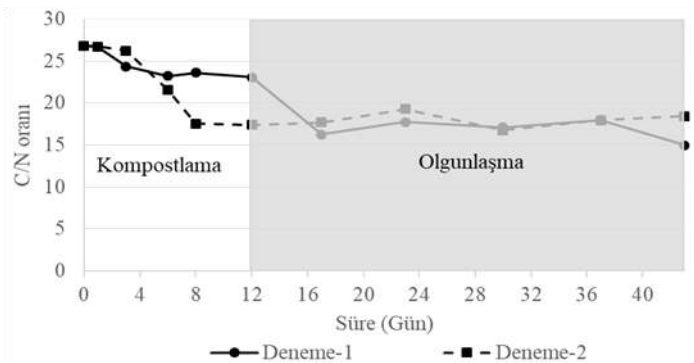
Şekil 5. Kompostlaşan materyal organik madde içeriğinin süreye bağlı değişimi

3.5. Kompost C/N Oranının Değişimi

C/N oranı kompostlaştırma açısından önemli bir parametredir. Genel bir yaklaşım ile C/N <20 olduğunda N, basit inorganik azot formlarına dönüşmekte (mineralizasyon); buna karşın, C/N>20 olduğunda ise mineral azot formları canlı organizma dokularına girmekte, karmaşık bileşikler içinde organik olarak tutulma olayı (asimilasyon veya azot-immobilizasyonu) gerçekleşmektedir (Truong ve Marchner, 2018). Şekil 6 incelendiğinde; biyoaktivatör ilaveli reaktörde N-

immobilizasyonunun kompostlaşma süresi olan 12 gün boyunca devam ettiği ve olgunlaşma süreciyle birlikte mineralizasyon sürecinin başladığı ifade edilebilir. Benzer durumun, biyoaktivatör ilavesiz reaktör için 8. gün itibarıyla gerçekleştiği söylenebilir. Biyoaktivatör ilaveli reaktörden elde edilen C/N değerleri, Truong ve Marschner (2018) tarafından elde edilen sonuçlarla uyumludur. Sonuçlarda, biyoaktivatör ilavesiz reaktörde sıcaklığın maksimum 60 °C olarak gerçekleştiği, üçüncü gün yaklaşık 45 °C'ye düştüğü belirlenmiştir. Altıncı günün C/N oranları kıyaslandığında, yaklaşık %18'lik bir C/N oranı azalışı gözlenirken, sıcaklığın 45 °C'den 35 °C'ye düştüğü sekizinci günde aynı değer %18.5 oranında azalma göstermiştir.

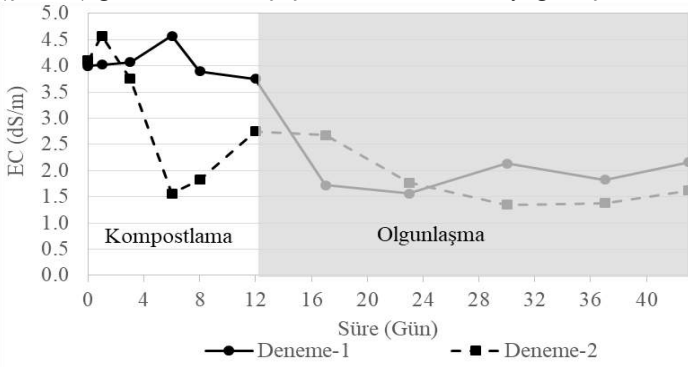
Kompostlaşma işlemi boyunca meydana gelen, C ve N kayıpları, kompost kalitesi üzerinde önemli düzeyde etkilidir (Larney vd., 2006). İlk ölçümde biyoaktivatör ilavesiz reaktördeki numunelerin C/N oranı, biyoaktivatör ilaveli reaktöre kıyasla daha hızlı bir azalış göstermiştir. Benzer azalış, biyoaktivatör ilaveli reaktörde ikinci ölçümde gözlemlenmiştir. Diğer bütün ölçümlerde dalgalanmalar gözlemlenmiş ve sonuç olarak onuncu ölçümde biyoaktivatör ilaveli ve ilavesiz reaktörlerde C/N değeri sırasıyla 15.01 ve 18.45 olarak belirlenmiştir. Sonuçta; başlangıç aşamasında aynı C/N oranına sahip olan iki karışımın, aktif kompostlaşma ve olgunlaşma süreçlerinin ardından gerçekleşen C/N oranındaki azalma değerleri, biyoaktivatör ilaveli ve ilavesiz reaktörler için sırasıyla %44.06 ve %31.18 olarak gerçekleşmiştir. Kompostlaşma ve olgunlaşma süreci sonunda biyoaktivatör ilaveli ve ilavesiz reaktörlerde meydana gelen organik madde kayıpları sırasıyla, %59.24-%14.63 ve %64.32-%2.04 olarak belirlenmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında kompostlaşma aşamasında, biyoaktivatör ilavesiz reaktörde N kaybının, biyoaktivatör ilaveli reaktöre kıyasla daha fazla miktarda gerçekleştiği, buna karşın, olgunlaşma sonunda biyoaktivatör ilaveli reaktörde biyoaktivatör ilavesiz reaktöre kıyasla daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Zhang vd., (2019) tarafından yürütülen ve farklı C/N oranlarının (20:1, 25:1, 30:1) denendiği çalışmada belirlenen organik madde kayıplarının sırasıyla; %22.39, %21.38 ve %21.49 olarak gerçekleştiği vurgulanmıştır. Mevcut çalışmada elde edilen organik madde kayıplarının kompostlama süreci ve olgunlaşma süreci sonunda sırasıyla, biyoaktivatörlü reaktörde %59.24 ve %14.63, biyoaktivatörsüz reaktörde %64.32 ve %2.04 olarak bulunması organik madde kayıpları açısından biyoaktivatörlü reaktörde olgunlaşma aşamasında, biyoaktivatörsüz reaktörde ise kompostlama aşamasında C/N ve organik madde kayıpları açısından başarılı olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Kompost materyali C/N oranının süreye bağlı değişimi

3.6. Kompost EC Değerinin Değişimi

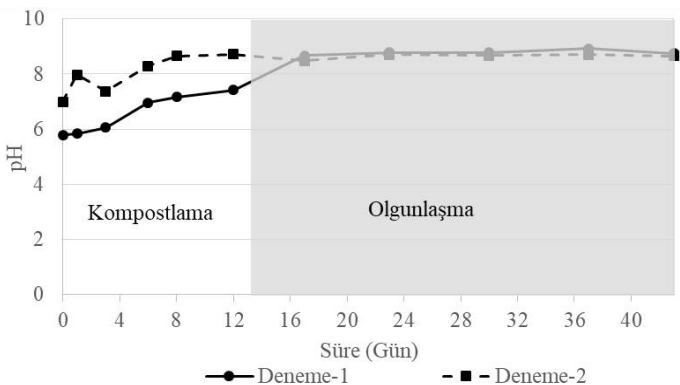
Genel olarak EC değeri, ayrışma sırasında nitrat ve fosfat gibi çözülebilir tuzların kompostlaşma ortamına salınması sonucunda artmaktadır. Buna karşın, amonyağın uçucu forma geçmesi ve mineral tuzların sızması nedeniyle EC değerinde azalma gerçekleşmektedir (Lazcano vd., 2008; Lui ve Price, 2011). Biyoaktivatör ilaveli reaktörde altıncı günde gerçekleşen EC artışının ve daha sonraki azalmanın nedeni yukarıdaki gerekçelerle açıklanabilir (Lazcano vd., 2008; Lui ve Price, 2011). Benzer şekilde; biyoaktivatör ilavesiz reaktörde altıncı günde (Şekil 7) gözlenen ani düşüşün sebebinin, amonyağın uçucu hale



Şekil 7. Kompost EC değerinin süreye bağlı değişimi

3.7. Kompost (kompost materyali) pH Değerinin Değişimi

Kompostlaştırma işleminin ilk haftalarında organik madde ayrışması sonucunda amonyum oluşumuna ve amonyağın çözünmesine bağlı olarak, kompost materyali içerisindeki pH değerinde değişimler belirlenmiştir (He vd., 2018; Wang vd., 2016; Agnolucci vd., 2013). Şekil 8 incelendiğinde, N içeren organik bileşiklerin (proteinler ve amino asitler) amonyum içerisindeki hızlı mineralizasyonu ve birikmesi nedeniyle biyoaktivatör ilaveli reaktörün pH değerlerinde düzenli bir artış, biyoaktivatör ilavesiz reaktörde ise kompostlaşmanın üçüncü gününde pH değerinde bir azalma tespit edilmiştir. Daha sonraki süreçte, her iki reaktörde pH değerleri on yedinci güne kadar artmaya devam etmiştir. Başlangıç pH değerleri farklı olmasına rağmen, her iki kompost numunesinin, olgunlaşma süresi ve olgunlaşma sonrasında birbirine yakın ve optimum değerler olarak bilinen pH 6-9 aralığında gerçekleşmiştir. Bu sonuç, numunelerin ideal bir pH değişim eğiliminde olduğunu göstermektedir (Rykeboer vd., 2003; Liu vd., 2011; Zhang vd., 2018; Zhang vd. 2019). Sonuç olarak, biyoaktivatör kullanımının pH değerleri değişiminde etkisinin olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 8. Kompost pH değerinin süreye bağlı değişimi

gelmesi ve mineral tuzların sızması olabileceği ifade edilebilir (Lazcano vd., 2008; Lui ve Price, 2011). EC değerlerinin; biyoaktivatör ilaveli reaktörde biyoaktivatör ilavesiz reaktöre kıyasla yüksek değerlerde seyretmesi, biyoaktivatörün etkisiyle kompost materyali bünyesindeki iyonların serbest kalma miktarını arttırmasıyla açıklanabilir. EC değerlerinin biyoaktivatör ilaveli ve ilavesiz reaktörlerde sırasıyla 2.16 dS/m (mS/cm) ve 1.62 dS/m (mS/cm \leq 4 mS/cm olarak belirlenmiş olması, kompostların EC bakımından olgunluğa ulaştığını ve toprağa güvenle uygulanabileceğini göstermektedir (Awasthi vd., 2017).

4. Sonuç

Narın işlenmesi sonucunda ortaya çıkan nar kabuğu atıkları, 0.38 m³'lük hacme sahip egzoz gazı geri dönüşümlü otomatik kontrollü döner tambur sisteminde kompostlaştırılmıştır. Çalışmanın amacı; nar kabuklarının döner tamburda kompostlaştırma işleminde, biyoaktivatör (BIOKOR BZT®Compost Aktivatör) etkisinin belirlenmesi olarak seçilmiştir. Deneme süresince, kompostlaşma performans parametreleri olarak bilinen; sıcaklık, CO₂ konsantrasyonu, kompost materyal nemi, organik madde içeriği, pH düzeyi, elektriksel iletkenlik değeri ve C/N oranı ölçümlerle belirlenmiştir. Kompostlaşma ve olgunlaşma süreçleri sırasıyla, 12 ve 31 gün olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; performans parametreleri açısından, biyoaktivatör ilaveli (Deneme-1) kompostlaştırmanın bir fark yaratmadığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, kompostun daha hızlı olgunlaşması amacıyla biyoaktivatörün karışım içerisine kompost olgunlaşma süreci başlangıcında eklenmesi önerilmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesinde destek veren; Cenk Soyöz MTF Makine Kimya Otomasyon, Tunay Gıda San. ve Tic. A.Ş ve Design Group Danışmanlık Hizmetleri San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Agnolucci, M., Cristani, C., Battini, F., Palla, M., Cardelli, R., Saviozzi, A., Nuti, M. (2013). Microbially-enhanced composting of olive mill solid waste (wet husk): bacterial and fungal community dynamics at industrial pilot and farm level. *Bioresource Technology*, 34, 10-16.
- Awasthi, M.K., Wang, Q., Chen, H., Wang, M., Rena, X., Zhao, J., Li, J., Guo, D., Li, D.S., Awasthi, S.K., Sun, X., Zhang, Z. (2017). Evaluation of biochar amended biosolids co-composting to improve the nutrient transformation and its correlation as a function for the production of nutrient-rich compost, *Bioresource Technology*, 237, 156-166.
- Bosco, T., C., D., Michels, R., N., Bertozzi, J., Junior, I., T., Hashimoto, E., M. (2018). The ideal frequency of temperature data collection in compostability experiments on domestic organic residues. *Environmental Technology*, 41(9), 1160-1166.
- Flynn, P.R., Wood, C.W. (1996). Temperature and chemical changes during composting of broiler litter. *Compost Science and Utilization*, 4(3), 62-70.
- Ghaly, A. E., and M. Alhattah. (2013). Drying poultry manure for pollution potential reduction and production of organic fertilizer. *America Journal of Environmental Science*, 9(2), 88-102.

- Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M., & Boudabous, A. (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 80(3), 217-225.
- He, P., Wei, S., Shao, L., & Lü, F. (2018). Emission potential of volatile sulfur compounds (VSCs) and ammonia from sludge compost with different bio-stability under various oxygen levels. *Waste Management*, 73, 113-122.
- Henry, C. L., and R. B. Harrison. (1996). Carbon Fraction in Compost and Compost Maturity Tests. In *Soil organic matter: analysis and interpretation*, ed. by F. R. Magdoff, M. A. Taabatabai and E. A. Harlon, 51–67. USA: SSA Special Publication.
- Islam, M. K., Yaseen, T., Traversa, A., Kheder, M. B., Brunetti, G., & Coccozza, C. (2016). Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. *Waste Management*, 52, 62-68.
- Kadir, A. A., N. W. Azhari, and Jamaludin, S. N. (2017). Evaluation of physical, chemical and heavy metal concentration of food waste composting. *Web of Conference* 103:5-14.
- Kanat, G. & Ergüven, G. Ö. (2020). Importance of Solid Waste Management on Composting, Problems and Proposed Solutions: The Case of Turkey. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 66-71.
- Larney, F. J., Sullivan, D. M., Buckley, K. E., & Eghball, B. (2006). The role of composting in recycling manure nutrients. *Canadian Journal of Soil Science*, 86(4), 597-611.
- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., & Domínguez, J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, 72(7), 1013-1019.
- Liu, D., Zhang, R., Wu, H., Xu, D., Tang, Z., Yu, G., Xu, Z., Shen, Q. (2011). Changes in biochemical and microbiological parameters during the period of rapid composting of dairy manure with rice chaff. *Bioresource Technology*, 102, 9040-9049.
- Liu, K., Price, G.W. (2011). Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds. *Bioresource Technology*, 102, 7966-7974.
- Luiza, R., M. Javares, and E. Nahas. (2014). Humic fractions of forest, pasture and maize crop soils resulting from microbial activity. *Brazilian Journal of Microbiology* 45(3), 963-69.
- Muntjeer, A., Kazmi, AA., Ahmed, N. (2014). Study on effects of temperature, moisture and pH in degradation and degradation kinetics of aldrin, endosulfan, lindane pesticides during full-scale continuous rotary drum composting. *Chemosphere*, 102, 68-75.
- Ojo, A., O., Taiwo, L., B., Adediran, J., A., Oyedele, A., O., Fademi, I., O., Uthman, A., C., O. (2018). Physical, Chemical and Biological Properties of an Accelerated Cassava Based Compost Prepared Using Different Ratios of Cassava Peels and Poultry Manure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(14), 1774-1786.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., Insam, H., Swings, J. (2003). A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of microbiology*, 53(4), 349-410.
- Sadef, Y., Poulsen, T. G., & Bester, K. (2014). Impact of compost process temperature on organic micro-pollutant degradation. *Science of the Total Environment*, 494, 306-312.
- Sadik, M. W., El Shaer, H. M., & Yakot, H. M. (2010). Recycling of agriculture and animal farm wastes into compost using compost activator in Saudi Arabia. *Journal of International Environmental Application and Science*, 5(3), 397-403.
- Saravanan, P., Kumar, S. S., & Ajithan, C. (2013). Eco-friendly practice of utilization of food wastes. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Innovation*, 2(1), 14-17.
- Soyöz, C., (2018). Egzoz gazı geri dönüşümünün döner tambur kompostlama sistemine etkisi. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Şevik F., Tosun, İ., Ekinci, K. (2018a). Nar İşleme Atıklarının Özellikleri ve Bertaraf. Stratejilerinin Belirlenmesi. Uluslararası Marmara Fen Ve Sosyal Bilimler Kongresi, 23-25 Kasım 2018, Kocaeli.
- Şevik, F., Tosun, İ., Ekinci, K. (2018b). The effect of FAS and C/N ratios on co-composting of sewage sludge, dairy manure and tomato stalks. *Waste Management*, 80, 450-456.
- TMECC (2002). Test Methods for the Examination of Composting and Composts. Wayne Thompson, the US Composting Council, US Government Printing Office.
- Truong, T.H.H., Marschner, P. (2018). Respiration, available N and microbial biomass N in soil amended with mixes of organic materials differing in C/N ratio and decomposition stage. *Geoderma*, 319, 167-174.
- Villar, I., Alves, D., Garrido, J. (2016). Evolution of microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of waste. *Waste Management*, 54, 83-92.
- Wang, Q., Wang, Z., Awasthi, M.K., Jiang, Y.H., Li, R.H., Ren, X.N., Zhao, J.C., Shen, F., Wang, M. J., Zhang, Z.Q. (2016). Evaluation of medical stone amendment for the reduction of nitrogen loss and bioavailability of heavy metals during pig manure composting. *Bioresource Technology*, 220, 297-304.
- Zhang, C.S., Xu, Y., Zhao, M.H., Rong, H.W., Zhang, K.F. (2018). Influence of inoculating white-rot fungi on organic matter transformations and mobility of heavy metals in sewage sludge based composting. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 163-168.
- Zhang, J., Bao, Y., Jiang, Y., Liu H. T., Xi, B. D., Wang, D. Q. (2019). Removal and dissipation pathway of typical fluoroquinolones in sewage sludge during aerobic composting. *Waste Management*, 95, 450-457.



Heavy Metal Pollution in the Agricultural Soils alongside Highway 080 of Iğdir Province

Cemal Küçük¹, Mücahit Karaoğlu^{2*}

¹Agricultural Engineer, Ministry of Agriculture and Forestry, Ankara, Turkey, (0000-0002-4609-4634), cemalkucuk@windoesliev.com

^{2*} Iğdir University, Agricultural Faculty, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Iğdir, Turkey, (0000-0002-7388-9192), mucahit.karaoğlu@igdir.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.909276)

ATIF/REFERENCE: Küçük, C. & Karaoğlu, M. (2021). Heavy Metal Pollution in the Agricultural Soils alongside Highway 080 of Iğdir Province. *European Journal of Science and Technology*, (25), 325-333.

Abstract

Natural soils have been polluted by variety of human activity such as urbanization, industrialization and excessive fertilizer and pesticide usage. However, the agricultural soils alongside the highways, especially those of international ones, are relatively at higher risk of heavy metal pollution depending on the intensive track traffic. Therefore, total of 72 soil samples from the 24 sampling sites were taken at 5 km interval to elucidate the vehicle-induced heavy metal pollution on the international highway 080 in Iğdir, Turkey. After characterising the soil samples, their total and DTPA extractable or plant available concentrations were determined. The results showed that the concentrations of total and available heavy metals were highly dependent on the distances from the highway. In general, the closer distance to highway resulted in higher element concentrations. Iron and zinc were the most affected elements ($p > 0.01$), and followed by nickel ($p < 0.05$), manganese and copper (close to $p = 0.05$). The zone from 0 to 10 m away from the highway was the most polluted area. Pollution indices (PI) were in descending order as $Ni > Cu > Zn > Fe > Mn$ for the total concentrations and $Cu > Zn > Mn > Fe > Ni$ for the available fractions. The pollution load indices (PLI) were generally higher than the pollution indices (PI) of total micronutrients except nickel (Ni) values, and were generally lower than the pollution indices (PI) of available ones. It can be concluded that Ni and Cu were likely to reach environmentally risky levels in relatively shorter time.

Keywords: Heavy metals, total and available deposits, pollution index, pollution load index, Highway 080.

Iğdir ili 080 Devlet Karayolu Boyunca Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliği

Öz

Doğal topraklar, kentleşme, sanayileşme ve aşırı gübre ve pestisit kullanımı gibi çeşitli insan faaliyetleri ile kirlenmiştir. Bununla birlikte, özellikle uluslararası olanlar üzere otoyolların yanındaki tarımsal topraklar, yoğun yol trafiğine bağlı olarak nispeten daha yüksek ağır metal kirliliği riski altındadır. Bu nedenle, Türkiye Iğdir'da 080 uluslararası karayolunda araç kaynaklı ağır metal kirliliğini aydınlatmak için 24 örnekleme noktasından toplam 72 toprak numunesi 5 km aralıklarla alınmıştır. Toprak numunelerinin özellikleri belirlendikten sonra, toplam ve bitki tarafından alınabilir miktarları DTPA ile ekstrakte edilerek ölçülmüştür. Sonuçlar, toplam ve alınabilir ağır metal konsantrasyonlarının büyük ölçüde otoyola olan mesafelere bağlı olduğunu göstermiştir. Genel olarak, otoyola daha yakın mesafe, daha yüksek element konsantrasyonları ölçülmüştür. Uzaklıktan en çok etkilenen elementler demir ve çinko olmuştur ($p > 0.01$) ve bunları nikel ($p < 0.05$), manganez ve bakır ($p = 0.05$ 'e yakın) izlemiştir. Otoyoldan 0 ila 10 m uzaklıktaki bölge en kirliliği bölge olmuştur. Kirlilik indeksleri (PI), toplam konsantrasyonlar için $Ni > Cu > Zn > Fe > Mn$ ve alınabilir değerler için $Cu > Zn > Mn > Fe > Ni$ şeklinde sıralanmıştır. Kirlilik yük endeksleri (PLI) genel olarak nikel (Ni) değerleri dışında toplam mikro besinlerin kirlilik endekslerinden (PI) daha yüksek ve genellikle alınabilir değerlerin kirlilik endekslerinden (PI) daha düşük hesaplanmıştır. Ni ve Cu'nun nispeten daha kısa sürede çevre açısından riskli seviyelere ulaşma ihtimalinin yüksek olduğu sonucuna varılabilir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metaller, toplam ve alınabilir birikimler, kirlilik endeksi, kirlilik yük endeksi, 080 Devlet Karayolu.

1. Introduction

Soil is an active and necessary natural part of lithosphere comprimizig various forms of organisms from microscopic to huge trees. Soil encloses both macro and micro nutrients which are significant sustenance for the biosphere and aids in maintaining the stability of biodiversity and habitat.

A great deal of the metal(loid)s is classified as micronutrients, namely their small quantities are necessary for growing of plants and/or animals. Exemplarily, copper (Cu), manganese (Mn), molybdenum (Mo), nickel (Ni) and zinc (Zn) are the heavy metals which are vital for higher plants. Chromium (Cr), Cu, cobalt (Co), Mn, Mo, selenium (Se), vanadium (V) and Zn are the micronutrient heavy metal(loid)s for animals and humans. Iron (Fe), not usually taken into account as a risky heavy metal due to very low solubility in soils, is essential for both plants and animals. Either deficiency or toxicity of micronutrients have averse influences over plant and animal health, such as limitation in growth, physiological stress and, in utmost cases, the decease of yield. In many parts of the world, the deleterious effects of deficiency of essential heavy metal(loid)s are economically more considerable than their toxicities in the soils [1].

Regardless of their essentiality for plant growth, excessive occurrence of heavy metals in tissues and organs adversely affects the development of plants at vegetative and generative stages [2]. Many metals are necessary for human life at low concentrations and these metals can be toxic at high concentrations. These essential metals are iron (Fe), magnesium (Mg), zinc (Zn), copper (Cu), and manganese (Mn), etc. These are the key elements for maintaining biochemical processes taking place in a living body [3].

In many developing and developed countries, vehicular pollution is a critical environmental issue especially in the over-crowded places. Transports in big cities are predicted to be liable for 70% of carbon monoxide (CO), 50% of hydrocarbon (CxHy), 30-40% of nitrogen dioxide (NO₂), 30% of suspended particulate matter, and 10% of sulphur dioxide (SO₂) of the total pollution, of which two-thirds is provided by exhaust emission alone [4]. The different kind of motor vehicles release a number of toxic metals into the vicinity of highways. The heavy metals participate in biological cycle and their surplus or deficit ensues in nuisance of the metabolism and obstructed vegetation [5].

It is very difficult to remove heavy metals incorporated in the soil environment. Retention of heavy metals by soil colloids affects the plant uptake and their downward movement in soil profile [6], which reduces the quantity and quality of crop production [7]. Heavy metals have been difficult to deal with not only in air and soils but also in treatment waters [8].

This study considers the agricultural lands along the State Highway 080 which provides the connection of Tuzluca-Igdir-Nakhichevan for total and DTPA-extractable Ni, Fe, Mn, Zn, and Cu. The influence of highway deposits were evaluated perpendicular distance from the highway by taking into consideration the prevailing wind, side effects being in the right and left handside of the highway, soil physical and chemical properties, and the West (080-05) and East (080-06) sections of the State Highway.

2. Material and Method

2.1. Materials

2.1.1. Site Description

The study field was located between the West section of the highway 080-05 from the west entrance (40°04'-43°64') of the district of Tuzluca in the west of the province Igdir towards the province Igdir (39°92'-44°07') and the East section of the highway 080-06 to the Dilucu customs (39°65'-44°79') of the district of Aralik in the east of the province Igdir and was approximately 130 km long. The number of motor vehicles traveling in the field for 2019 is 24259, most of which are diesel motor vehicles [9].

2.1.2. Soil Samples

Total of 72 surface (0-20 cm) soil samples were taken diagonally from 24 points (Figure 1) situating 40°04'-43°68' and 39°66'-44°80' alongside the State Highway 080, at 5 km intervals, at a perpendicular distance of 0-10-30 meters from the highway.



Figure 1. The map of study field

2.1.3. Igdir Province

Igdir province and its surrounding, which have a microclimate feature and a vegetation period between 137-191 days according to the Frost Calendar of Turkey [10], have different properties in the Eastern Anatolia Region in terms of climatic conditions and biological diversity.

Igdir plain situates 850 m above the sea level and is surrounded by mountains with altitudes of 1200-2000 meters. Therefore the plain has a plate-like appearance. This geological structure of Igdir province can sometimes be advantageous (agricultural diversity) and sometimes causes difficulties (drainage problem, salinity, cold air mass subsidence).

As a result of the assessments on the monthly prevailing wind directions of automatic meteorological stations (2014-2017), the annual prevailing wind direction was determined as ESE for Tuzluca district; E-ENE for Igdir airport; N-WNW for Igdir province; W-SW for Karakoyunlu district; and NW-WNW for Aralik district [11].

2.2. Methods

2.2.1. Physical and Chemical Analyses

The soil samples were air-dried and passed through 2-mm plastic sieve. Then the following parameters were determined: texture (%) by Bouyoucos hydrometer method [12]; soil reactions (pH) in 1:2.5 soil water suspension with a glass electrode [13]; carbonate equivalent by a manometric method using Scheibler

Calcimeter [14]; organic matter by Walkley-Black method [15]; the electrical conductivity (EC.10³) in 1:2.5 soil/water extract using the EC-meter [16].

2.2.2. Total-Available Micronutrient Analyses

After the total amounts of nickel, iron, manganese, zinc and copper micronutrient elements investigated in the sampled soils were extracted with 3 M HCl + 1 M HNO₃ acid, they were read at ICP-OES, determined at ppb level, and converted to mg kg⁻¹ [17].

The available concentrations of Fe, Mn, Zn and Cu in the soils were extracted by 0.005 M DTPA + 0.01 M CaCl₂ + 0.1 M TEA mixture at pH to 7.3, then the element concentrations were determined by means of atomic absorption spectrophotometer (Agilent FS 240) [18, 19]. In order to evaluate the degree of pollution for the microelements in soils, their composition, lower and upper limits, and threshold values for optimal plant requirements were given in Table 1.

Table 1. Total and DTPA-extractable micronutrient concentrations (mg kg⁻¹)

ME	Soil	Average ¹	Upper limit ²	Critical values in plant ³
Ni	40 ⁴	13	75	10.0 ^{6,7}
Fe	-	18000	-	4.50
Mn	3000 ⁵	330	-	14.0
Zn	300 ⁴	48	300; 50 ⁶	0.54
Cu	20 ⁴	17	140; 15 ⁶	0.20

ME: Micronutrient elements;

¹[20]; ²[21]; ³[22]; ⁴[23]; ⁵[24]; ⁶[25]; ⁷[26].

2.2.3. Heavy Metal Pollution Index (PI)

The pollution index (PI) of nickel, iron, manganese, zinc and copper at 72 sampled points for the total and available concentrations was calculated of by using the following equation [27] in order to assess the level of heavy metal pollution [28].

$$PI = C_n / B_n \quad (I)$$

Where, C_n is the measured quantity of each heavy metal and B_n is the upper limit values accepted for each heavy metal. Despite there are different values for B_n in the literature the average values in soil [20] given in Table 1 were taken as basis in the pollution indices (PI) for nickel, iron, manganese, zinc and copper. The pollution index (PI) for each heavy metal is classified as low (PI≤1), medium (1<PI≤3) and high pollution (PI> 3) [27].

2.2.4. Pollution Load Index (PLI)

Tomlinson et al. [29] suggested an equation so as to calculate pollution load index (PLI) for a specific region. According to this process, the heavy metals analysed can be considered as force multipliers for each other. This index can be explained as a practical way to state contamination level of varied regions. The equation of pollution load index (PLI) is:

$$PLI = \sqrt[n]{(PI1 \times PI2 \times PI3 \times \dots \times PIn)} \quad (II)$$

However, it was used for this study as given below:

$$PLI = \sqrt[n]{(PI1 \times PI2 \times PI3 \times PI4 \times PI5)}$$

Where n is the number of heavy metals (five in this study) and PI is the pollution index. This equation has been used as easy and holistic way of evaluating relative level of heavy metal contamination.

2.2.5. Pollution and Pollution Load Indices Graphics

It was thought to be more useful to draw graphics belonged to pollution and pollution load indices instead of graphics related to deposits of heavy metals. The graphics of pollution and pollution load indices for 0, 10 and 30 meter inward from the highway were drawn and interpreted.

2.2.6. Statistical Analyses

The analysis of variance was performed in order to determine the statistical significance of changes of the total and available nickel, iron, manganese, zinc and copper pollution in the sampled soils based on the perpendicular distance inward from the highway as well as the effect of the prevailing winds on heavy metal deposit and its significance degree. On the other hand, correlation analysis was performed to determine the coherence between the physical and chemical properties of the soils and traffic-induced heavy metal deposition.

3. Results and Discussion

3.1. Physical and Chemical Analysis Results

The texture of the experiential soils were classified as sandy loam (SL), clayey loam (CL), silty clay loam (SCL) and clay (C). The samples 1, 2, 3, 4, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, and 24 had a sand percentages between 73-78% and therefore light textured; the samples 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, and 18 had a silt percentage between 42-48% and a clay percentage range of 31-39% and thus medium textured; and the rest of 12 soil samples had very clay content between 48-51% and thus heavy textured [30]. The pH values were ranged between 7.4-10.5 and were defined to be neutral and alkaline (slightly alkaline, moderately alkaline, strong alkaline). Carbonate contents (CaCO₃) varied between 1.4-15.2% and they classified as low calcareous, calcareous, medium calcareous, and high calcareous. Organic matter contents were between 0.1-1.7% and therefore they were poor in organic matter in very low to low class [31]. Electrical conductivity (EC.10³) values were recorded between 2.3-18.4 mmhos cm⁻¹ and varied between very mild saline and extremely saline [32].

3.2. Micronutrients Analysis Results

Total and available concentrations of heavy metals in 72 soil samples evaluated, by pollution indices (PI) calculated from the averages and background level of 13 for Ni; 18000 for Fe; 330 for Mn; 48 for Zn and 17 Cu [20], and according to critical values in plant 10 for Ni; 4.5 for Fe; 14 for Mn; 0.54 for Zn and 0.2 for Cu [22] were given in Table 2 as maximum, minimum and average values.

Table 2. Total and DTPA-extractable micronutrient concentrations and pollution indices (PI)

ME	D	Total (mg kg ⁻¹)			PI		DTPA-ext (mg kg ⁻¹)			PI			
		Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	
Ni	0	224.9	21.9	123.5	17.3	1.7	9.5	1.4	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0
	10	181.4	20.6	100.9	13.9	1.6	7.8	1.9	1.4	0.8	0.2	0.1	0.1
	30	152.1	19.9	85.9	11.7	1.5	6.6	2.9	0.1	1.5	0.3	0.0	0.2
Fe	0	33843.8	7347.8	20595.8	1.9	0.4	1.1	5.8	0.4	3.1	1.3	0.1	0.7
	10	28611.4	6653.6	17632.5	1.6	0.4	0.9	5.9	1.0	3.4	1.3	0.2	0.7
	30	26984.2	6065.1	16524.6	1.5	0.3	0.9	4.7	0.8	2.8	1.0	0.2	0.6
Mn	0	892.1	135.3	482.2	2.7	0.4	1.6	37.2	0.8	19.0	2.7	0.1	1.4
	10	807.0	142.8	474.9	2.4	0.4	1.4	27.7	1.9	14.8	2.0	0.1	1.1
	30	741.7	126.0	433.8	2.2	0.4	1.3	28.2	1.4	14.8	2.0	0.1	1.1
Zn	0	125.8	50.6	88.2	2.6	1.1	1.8	1.2	0.0	0.6	2.2	0.0	1.1
	10	115.5	47.0	81.3	2.4	0.9	1.7	1.4	0.0	0.7	2.6	0.0	1.3
	30	99.0	45.1	72.1	2.1	0.9	1.5	1.2	0.0	0.6	2.3	0.0	1.2
Cu	0	55.4	16.2	35.8	3.3	0.9	2.1	4.9	0.2	2.5	24.6	0.9	12.7
	10	70.3	3.9	37.1	4.1	0.2	2.2	4.1	0.4	2.2	20.3	1.7	11.0
	30	51.9	3.4	27.6	3.0	0.2	1.6	6.7	0.6	3.7	33.6	3.2	18.4

ME: Micronutrient elements; D: Distance from highway (m); PI: Pollution indices; 0-10-30: Distances from highway (m).

Total nickel concentrations were higher than the reported soil mean concentration of 13 mg kg⁻¹ [20] at all sampling points. Consequently, pollution index values ranged between 1.5-17.3, and were classified as “medium pollution” (1<PI≤3) and “high pollution” (PI>3). Available Ni concentrations were lower than the critical level for plant 10 mg kg⁻¹ at all sampling points. In this approach, pollution index values were between 0.0-0.3, and were “low pollution” (PI<1). The reason for such behaviour is the alkaline pH and low organic carbon content of the experimental soils. This nature of the soils limits the solubility and availability of Ni in soils [18].

The reported soil average total Fe concentration (18000 mg kg⁻¹) was lower than those obtained in the experimental soils. Therefore, pollution index values were in the range of 0.3-1.9, and the pollution classes were low (PI≤1) to medium (1<PI≤3) pollution. Despite quite high-water table in the region, DTPA-extractable Fe concentrations were well under the sufficiency level (4.5 mg kg⁻¹) for plant [22] at majority of sampling points. So, PI values were in the safe range between 0.1-1.3. Very high pH, low organic matter content and carbonate content are the factors limiting its plant availability along with heavy soil texture [33].

Majority of sampling sites had a total Mn concentration above the reported average concentration of 330 mg kg⁻¹ [20]. Thus, PIs were reckoned between 0.4-2.7 in low pollution (PI≤1) and medium pollution (1<PI≤3) classes. DTPA-extractable Mn however were classified as deficient at many sampling sites showing a concentration of <14 mg kg⁻¹. This infact resulted in low pollution class (PI≤1) in majority, to lower extent in medium pollution level (<PI≤3). Despite the total Mn level comparatively higher than the literature average Mn concentration its plant availability highly limited by soil and other environmental conditions which enable to buffer excessive mobility of this element in the soil and reduce plant availability.

Besides two sampling sites the total Zn concentration of the soil samples were above the reported total average Zn level of 48 mg kg⁻¹ [20]. This resulted relatively higher PIs ranging between 0.9-2.6 in low to medium pollution classes. However, their available concentrations were proportionally lower with a PI range of 0.0-2.6 in the same abovementioned pollution classes. There are also a number of factors limiting its plant availability.

The experimental soils are richer than the reported soil Cu level (17 mg kg⁻¹). Therefore, some soil samples exerted a PI (0.2-

4.1) above 3 which may cause some environmental risks. Available copper values were lower than sufficiency threshold of 0.20 mg kg⁻¹ at all sampling points except one point. This extreme point showed a PI 33.6 which has environmentally serious risk.

The total PIs for the maximum ones were ordered as Ni>Cu>Mn>Zn>Fe; on the other hand, the available pollution indices for the maximum ones were ordered as Cu>Zn>Mn>Fe>Ni. Due to alkaline soil pH, high carbonate, low organic matter content, total concentration is to show natural occurrence order of the elements, however, added heavy metals other than the structural components of mineral phases can exert larger mobility. Therefore, Cu and Zn may be regarded as the risky elements in terms of antropogenic inclusion such as traffic, agricultural practices and industrial activities.

The pollution load indices (PLI) were generally higher than the pollution indices (PI) of total micronutrients except nickel (Ni) values, and were generally lower than the pollution indices (PI) of available ones. According to these results, PLI had a multiplier effect on total values of micronutrients, however it had not an multiplier effect on available ones because of factor limiting the mobility of these microelements.

3.3. Interpreting of Graphics

The graphics of indices of pollution (PI) and pollution load (PLI) belong to total and available micronutrients concentrations are shown in Figure 2, 3, 4, 5, 6 and 7 for 0, 10 and 30 meter distance from the highway. In graphics of total indices, nickel (Ni) values were omitted by virtue of being higher than the others (Table 2) and causing heterogeneity and/or irregularity in graphics of total ones. Similarly, in graphics of available indices, copper (Cu) values were removed for the same reason (Table 2). Those should be included because there are environmentally problematic locations for those elements.

The indices of sampled points for total and available micronutrients were well monitored than their concentrations in graphics. Because values of indices were lower and more homogeneous due to mathematical equations.

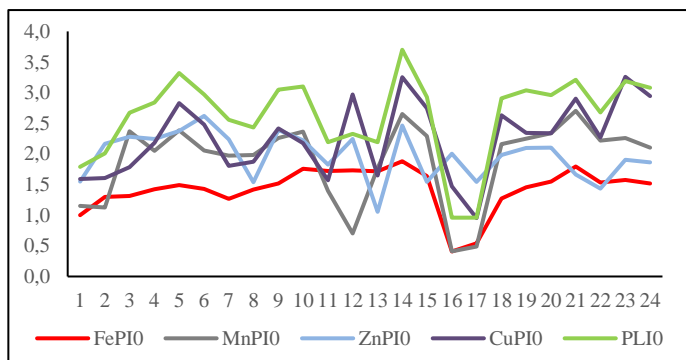


Figure 2. Pollution indices for total micronutrients at 0 m

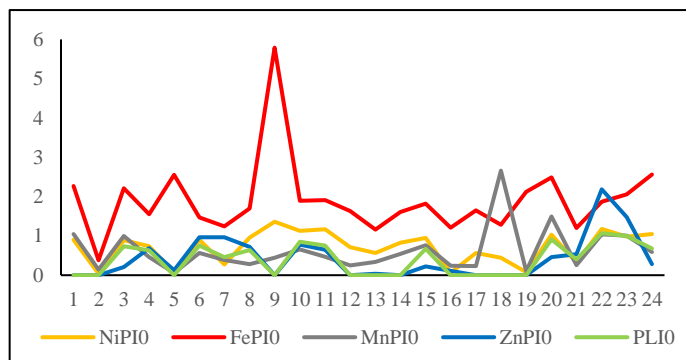


Figure 5. Pollution indices for available micronutrients at 0 m

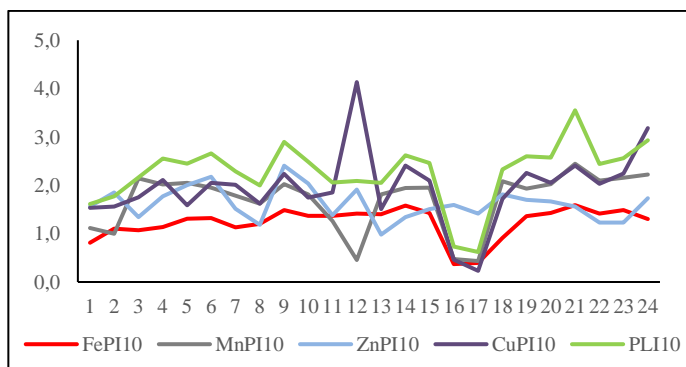


Figure 3. Pollution indices for total micronutrients at 10 m

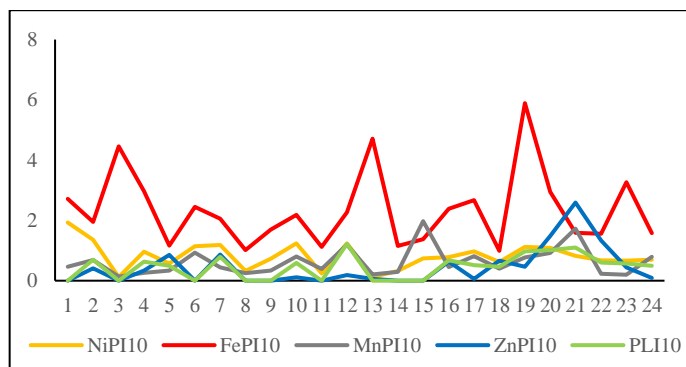


Figure 6. Pollution indices for available micronutrients at 10 m

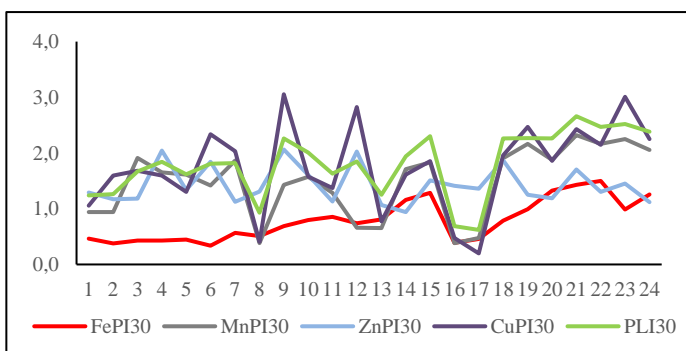


Figure 4. Pollution indices for total micronutrients at 30 m

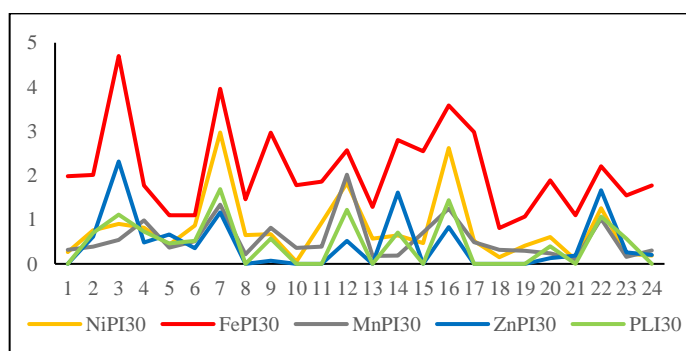


Figure 7. Pollution indices for available micronutrients at 30 m

When the graphics are considered, it is obvious that both 8th, 16th and 17th sampling points are of very low index values. As the reason for this situation, sampling point of 8 took place in intensive vegetation cover and of 16 was in wind erosion region where the soil texture was S as abovementioned, and were S, SL and LS, and the percentages of sand materials were between 54-97 [34]. Vegetation cover was conservator for soil in terms of total micronutrients' particulate deposits and remove some extent of micronutrients from the soils. Sandy soils are really very poor about fine materials, organic matter and other bonding agents, therefore a lot of materials positive and/or negative in terms of soil cannot be held in sandy soils.

On the other hand, values of 12th sampling point were lower for manganese (Mn) than the others. This made us think that there could be a negative relationship between manganese and clay fraction, because this sampling point had high clay content as abovementioned above.

Available micronutrients indices were generally found higher than the total ones due to having very low tolerable limits (Table 1). Iron (Fe) pollution index values were higher than the others except copper (Cu).

3.4. Statistical Analysis Results

3.4.1. Micronutrients Deposits-Distance Relationships

Analysis of variance were applied to explain the change of the total and available Ni, Fe, Mn, Zn, and Cu concentrations in the sampled soils inward from the highway. The element concentrations had a tendency to increase towards highway (Table 3) and this suggested that there was traffic induced enrichment of element concentrations.

Table 3. Results of analysis of variance on micronutrients deposits-distances

DV (T)	D	Mean	Standard deviation	SN	F	p	DV (A)	D	Mean	Standard deviation	SN	F	p
Ni	0	149.36	55.5807	24	5.285	0.007	Ni	0	0.7163	0.40163	24	0.226	0.798
	10	126.77	44.0927	24				10	0.8192	0.43126	24		
	30	106.51	35.0405	24				30	0.7879	0.73489	24		
Fe	0	26110.6	6572.39	24	21.446	0.000	Fe	0	1.9008	0.97499	24	0.997	0.374
	10	22464.9	6024.94	24				10	2.3400	1.24848	24		
	30	14249.7	6665.24	24				30	2.1192	0.98677	24		
Mn	0	625.09	217.230	24	3.014	0.054	Mn	0	8.7567	7.89201	24	0.129	0.880
	10	560.96	193.734	24				10	8.7600	6.63197	24		
	30	487.22	204.950	24				30	7.8663	6.50021	24		
Zn	0	94.742	18.5978	24	14.590	0.000	Zn	0	0.2342	0.29852	24	0.014	0.986
	10	77.800	16.3223	24				10	0.2379	0.33985	24		
	30	68.600	15.9836	24				30	0.2492	0.34310	24		
Cu	0	38.272	10.5068	24	3.281	0.051	Cu	0	2.3879	1.34859	24	1.008	0.370
	10	33.136	12.8375	24				10	2.4167	1.01607	24		
	30	29.658	13.2746	24				30	2.8596	1.46360	24		

DV: Dependent variables; D: Distance from highway; SN: Sample number; p: Significant level; T: Total; A: Available.

The distance from the highway is very significant factor for total traffic-induced pollution load of Fe, Zn, Ni; and about the significance threshold for Mn and Cu with a p 0.054 and 0.051, respectively. These suggested that Fe, Zn, and Ni had higher traffic dependency than the the other elements. The availability of the elements however had larger dependency to traffic due to the added elements on to the indigenous occurrence has a tendency to be more mobile [35].

3.4.2. Relationships Between Micronutrients Concentrations and Prevailing Winds

In this study, the samplings were conducted diagonally, and 12 of the 24 sampling points took place on the north of the highway and the other 12 took place on its south. Figure 1 shows the prevailing wind directions recorded in the study field. Analysis of variance were applied to determine the effect of prevailing winds on micronutrient concentrations. The effect of the prevailing winds was insignificant for all microelements in total and DTPA-extractable ones, except for the available iron concentrations were significant (p=0.037) and the total zinc concentrations were close to significance level (p=0.069) (Table 4).

Table 4. Micronutrients deposits-prevailing winds relationships

DV	Sum of square	DF	Mean of square	SD	F	p
Ni (T)	558.003	1	558.003	48.36317	0.265	0.609
Ni (A)	0.245	1	0.245	0.53790	0.826	0.327
Fe (T)	6875416.882	1	6875416.882	8068.29315	0.164	0.686
Fe (A)	4.993	1	4.993	1.07745	4.520	0.037
Mn (T)	31542.347	1	31542.347	210.40453	0.744	0.391
Mn (A)	50.753	1	50.753	6.94920	1.026	0.315
Zn (T)	953.971	1	953.971	19.99973	3.413	0.069
Zn (A)	0.053	1	0.053	0.32320	0.488	0.487
Cu (T)	104.137	1	104.137	12.60675	0.689	0.409
Cu (A)	4.147	1	4.147	1.29027	2.548	0.114

DV: Dependent variables; DF: Degrees of freedom; SD: Standard deviation; p: Significant level; T: Total; A: Available.

3.4.3. Relationships Between Micronutrients concentrations and soil properties

The Spearman correlation analysis was performed to delineate the relations between the physical and chemical properties of the soils and micronutrients' concentrations (Table 5).

The correlations were positive and very significant between total nickel and carbonate content and EC.10³; negative significant between total nickel and sand%; positive and very much significant between total iron and carbonate content, positive significant between total iron and EC.10³; positive and very significant between total manganese and carbonate content and EC.10³; negative significant between total zinc and sand percentage and pH; positive and very much significant between

Table 5. Regression analysis for micronutrients concentrations-soil properties

HM (T)	Soil properties					HM (A)	Soil properties				
	Sand (%)	pH (1:2.5)	CaCO ₃ (%)	OM (%)	EC.10 ³ (dS m ⁻¹)		Sand (%)	pH (1:2.5)	CaCO ₃ (%)	OM (%)	EC.10 ³ (dS m ⁻¹)
Ni	-0.198*	0.080	0.676***	0.062	0.534***	Ni	-0.054	-0.192	-0.149	0.081	-0.041
Fe	-0.085	0.160	0.490***	0.100	0.244*	Fe	0.183	0.056	-0.150	0.016	-0.026
Mn	-0.028	0.101	0.599***	-0.107	0.637***	Mn	-0.089	-0.184	0.100	0.044	0.021
Zn	-0.259*	-0.200*	-0.040	0.107	0.016	Zn	0.167	0.049	0.078	-0.289**	0.336**
Cu	-0.188	0.046	0.519***	0.116	0.297**	Cu	-0.028	-0.160	-0.144	0.111	0.001

HM: Heavy metal; T: Total; A: Available; OM: Organic matter; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

Heavy metal pollution, which is released as an aerosol into the atmosphere as a result of human activities and deposits in the soil, is a serious problem worldwide. The aerosols are dispersed in the atmosphere and transported a few kilometers from their outlet and enter the soil as dry or wet-depositions [36, 37]. Heavy metals in the soil are considered as substances that leave a strong trace on the monitoring of human activities such as industrial waste, exhaust gas emissions and aerosols. Heavy metals are the most dangerous one among anthropogenic pollutants due to their toxic effects and resistance [38, 39].

Soil, which has an important place in terrestrial ecosystem, cannot clean itself once it has been polluted. Micro elements in the soil structure create pollution only when they exceed a certain limit value [40]. There is a risk of toxic effects when total and particularly available microelement concentrations are above the critical values for plants and the concept of heavy metal makes sense at this point. Natural pollution originated from the parent material [41] faces as an artificial pollution increasing as a result of anthropogenic effects.

For Ni, one of micronutrient elements, the total value in the soils is reported to be 10-100 mg kg⁻¹ [42], 100 mg kg⁻¹ is the upper limit [43, 44] and 45 mg kg⁻¹ as average of earth's crust [45], they were measured to be higher than 100 mg kg⁻¹ at 55 sampling points of the study field and showed high contamination. All of the available nickel values measured in the study were lower than 10 mg kg⁻¹ critical value [22] and showed a lesser extent of environmental risk.

There is no upper limit value determined for total iron, which is the 3rd most common element in the lithosphere with 43200 mg kg⁻¹, and it was measured to be higher than the average value of 16000 [20] at 51 sampling points of the studied field and showed a moderate contamination. Available iron values measured in this study were higher than the critical value of 4.5 mg kg⁻¹ [22] at 4 sampling points and showed moderate contamination.

total copper and carbonate content; positive and very significant between total copper and EC.10³. The occurrence of carbonate minerals in soils is an indication of the soil weathering degrees. The ongoing dry climate with 260 mm annual precipitation results in accumulation of carbonates in soils. The presence of carbonates is to further immobilize heavy metals originating from either weathering processes or pollution [18].

There was positive correlation between the available fractions of heavy metals and organic matter except for Zn and Cu. Ni and Fe were inversely related to EC.10³, whereas Mn and Cu positively correlated to EC.10³. The EC.10³ in the experimental soils is to increase with the salinity and alkalinity. The alkaline condition immobilize Fe and Ni. High pH on the other hand is to solubilize organic matter which chelate Zn and Cu stronger [18]. This nature can mobilize to some extent these two heavy metals.

Total manganese was reported as 716 mg kg⁻¹ in lithosphere and 330 mg kg⁻¹ in soil [20] and up to 3000 mg kg⁻¹ in soil [24] and measured to be higher than the average value of 330 mg kg⁻¹ [20] at 58 sampling points of the study field, showed moderate contamination. The available manganese values measured in this study were higher than the critical value of 14.0 mg kg⁻¹ [22] at 13 sampling points and showed moderate contamination.

Total zinc was reported to be 65 mg kg⁻¹ in the earth's crust and averagely 48 mg kg⁻¹ in the soil [20] and maximum of 300 mg kg⁻¹ [23], and was measured to be higher than 50 mg kg⁻¹ [25] except for 1 sampling point of the road sites, and therefore the soils showed moderate contamination. The available zinc concentrations measured in the study were higher than the critical value of 0.54 mg kg⁻¹ [22] at 9 sampling points and showed the moderate contamination.

Total copper was reported to be 25 mg kg⁻¹ in the earth's crust and averagely 17 mg kg⁻¹ in the soil [22] and was measured to be higher than 15 mg kg⁻¹ [25] except for 6 sampling points of the study field, and showed the moderate and high contamination. The available copper values measured in the study were higher than the critical value of 0.20 mg kg⁻¹ [22] except for 1 sampling point and showed moderate and high contamination.

4. Conclusions and Recommendations

Highway 080 will be able to a part of Silk Road (historical) near future. This concern about heavy metal pollution will be then dramatic hazard if some precautions are taken by our government such as increasing electrical vehicles, railway transportation, tax increase for diesel engines etc.

Total and available micro nutrients in the soil should be monitored regularly. Total deposits can be transformed into available forms and may have a toxic effect if they exceed the limit values.

It is thought that the positive and very important correlations between the number of carbonates and salt in the soil and the total/DTPA-extractable micronutrients. These relations also indicate possible reclamation of the polluted soils.

It should be state that Ni and Cu had potential to reach environmentally risky levels in relatively shorter time.

5. Acknowledge

This research paper is a part of the 2017-FBE-L16 project. We, authors, are grateful for the financial support from the Unit of Scientific Research Projects of Iğdir University, Turkey.

References

- [1] Alloway, B. J. (2013). Heavy metals and metalloids as micronutrients for plants and animals. Heavy metal in soils pp 195-209. *Springer Science + Business Media Dordrecht*, e-ISBN 978-94-007-4470-7.
- [2] Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., & Çobanoğlu, D. (2004). Heavy metal ions (Cu²⁺, Pb²⁺, Hg²⁺, Cd²⁺) Clivia sp. effects of plant pollen on germination and tube growth (In Turkish). *F. U. Journal of Science and Mathematics*, 16(2), 177-182.
- [3] Oehlenschläger, J. (2000). Identifying Heavy Metals in Fish. *In: Safety and Quality Issues in Fish Processing (Ed. Bremmer, H.A.)*, pp. 95-108. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England.
- [4] Khandar, C., & Kosankar, S. (2014). A review of vehicular pollution in urban India and its effects on human health. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 3,1-8.
- [5] Adomaitis, T., Mazvila, J., & Eitminavicius, L. (2003). A comparative study of heavy metals in the soils of cities and arable lands. *Ekologija Vilnius*, 3-12.
- [6] Uluocak, G. E. (2006). Taking of heavy metals by plants (In Turkish). Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, *Master Thesis*.
- [7] Kızıloğlu, F. T., & Bilen, S. (2005). Soil pollution and biological environment (In Turkish). Atatürk University, *Journal of Agricultural Faculty*, 36(1), 83-88.
- [8] Karapınar, H. S. 2020. Evaluation of some toxic metal levels in treatment waters. *European Journal of Science and Technology*, 21, 301-306.
- [9] KGM. (2021a). *18. Region State Highways Volume Maps* (In Turkish). <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikHacimHaritasi>. Date of access: 28.02.2021.
- [10] Şimşek, O., Nadaroğlu, Y., Yücel, G., Yıldırım, M., & Erciyas, H. (2017). Frost event and frost calendar of Turkey (In Turkish). *State Meteorology Service Publications*, pp. 177, Ankara, Turkey.
- [11] Karaoğlu, M., Şimşek, U., Erdel, E., & Tohumcu, F. (2018). A case study: Wind characteristics of Iğdir province in terms of wind erosion and introduction of second wind erosion area. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(11), 7460-7469.
- [12] Bouyoucos, G. D. (1951). A Recalibration of the hydro-meter method for making mechanical analysis of the soil. *Agronomy Journal*, 43, 434-438.
- [13] Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *Handbook 60. Department of Agriculture, United States*.
- [14] Allison, L. E., & Moodie, C. D. (1965). Carbonate. In C.A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2*. 2nd edition.
- [15] Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63, 251-263.
- [16] Dellavalle, N. B. (1992). Determination of specific conductance in supertanat 1:2 soil/water solution in handbook on reference methods for soil analysis. *Soil and Plant Analysis Council, Inc. Athens, GA*.
- [17] Orbey, M. T., Göğçer, N. G., Ertaş, N., Yılmaz, Ş., Berkkan, A., Basan, H., Şatana, E., & Alp, O. (2012). *Analytical chemistry practices*, (In Turkish). G.Ü. Pharmaceutics Faculty Publications, No: 3, Ankara.
- [18] Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428.
- [19] Sağlam, M. T. (1994). Chemical Analysis Methods of Soil and Water (In Turkish). *Trakya University, Tekirdağ Agricultural Faculty*, Publication No: 189, *Supplementary Textbook No: 5*, Tekirdağ, Turkey.
- [20] Sposito, G. (2008). The chemistry of soils. *Oxford University Press*, 2nd Edition, ISBN 978-0-19-531369-7, pp. 329.
- [21] ÇŞB. (2005). Soil Pollution Regulation (In Turkish). *Appendix 1-A Soil Pollution Parameters Limit Values, Heavy Metal Limit Values in Soil*, The Ministry of Environment and Urbanization. (Official Gazette Dated 31.05.2005 and Numbered 25831).
- [22] Kacar, B. (2019). Micronutrients in sustainable agriculture (In Turkish). *Nobel Publisher*, 1st Edition, pp. 708.
- [23] He, Z. L., Yang, X. E., & Stoffella, P. J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impact on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19, 125-140.
- [24] Fageria, N.K. (2009). The use of nutrients in crop plants. *CRC Press*, pp. 430, Taylor and Francis Groups, New York.
- [25] ECDGE. (2021b). European Commission Directorate General Environment. *Heavy Metals and Organic Compounds from Wastes Used as Organic Fertilizers. Final Report*, July. WPA Consulting Engineers Inc. Ref. Nr. TEND/AML/2001/07/20, pp. 73-74. http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_fina_lreport.pdf Date of access: 28.02.2021.
- [26] Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J. R., & de la Rosa, G. (2005). Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, 249, 1797-1810.
- [27] Wei, B., Jiang, F., Li, X., & Mu, S. (2009). Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China. *Microchemical Journal*, 93, 147-152.
- [28] Siti Norbaya, M. R., Sharizal, H., Mohd Lias, K., & NorShahrizan, M. H. (2014). Analysis and pollution assessment of heavy metal in soil, Perlis. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 18(1), 155-161.
- [29] Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., & Jeffrey, D. W. (1980). Problems in the assessment of Heavy Metal Levels in Estuaries and the formation of Pollution Index. *Helgolander Wissenschaftliche Meeresunters*, 33, 566-572.
- [30] Demiralay, İ. (1993). Soil physical analysis (In Turkish). *Erzurum Atatürk University Publications No: 143*, Erzurum, Turkey.
- [31] Aydın, A., & Sezen, Y. (1995). Soil chemistry laboratory book (In Turkish). E.A.U. Agricultural Faculty Course Publications No: 174, 146 pages, Offset plant, Erzurum,

- Turkey.
- [32] Aydemir, O. (1992). Plant nutrition and soil fertility (In Turkish). *Erzurum Atatürk University Publications*. No: 734, Erzurum, Turkey.
- [33] Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and environmental soil science*, Volume 2019, Article ID 5794869, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>.
- [34] Karaoğlu, M., Şimşek, U., Tohumcu, F., & Erdel, E. (2017). Determining surface soil properties of wind erosion area of Iğdir-Aralık and estimating the soil loss. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(5), 3170-3175.
- [35] Durgun, B., Uygur, V., Durgun, B., & Sukuşu, E. (2017). Assessment of relations between micro element availability and soil properties in Isparta-Atabey plain using principal component analysis. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 32, 258-268. doi.org/10.7161/omuanajas.321115.
- [36] Soriano, A., Pallarés, S., Pardo, F., Vicente, A.B., Sanfeliu, T., & Bech, J. (2012). Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area. *Journal of Geochemical Exploration*, 113, 36-44.
- [37] Mandal, A., & Voutchkov, M. (2011). Heavy metals in soils around the Cement Factory in Rockfort, Kingston, Jamaica. *International Journal of Geosciences*, 2, 48-54.
- [38] Guo, G., Wu, F., Xie, F., & Zhang, R. (2012). Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3), 410-418.
- [39] Koz, B., Cevik, U., & Akbulut, S. (2012). Heavy metal analysis around Murgul (Artvin) copper mining area of Turkey using moss and soil. *Ecological Indicators*, 20, 17-23.
- [40] Mater, B. (2004). Soil Geography (In Turkish). *Çantay Publisher*, 3rd Edition, pp. 271, Istanbul, Turkey.
- [41] Taciroğlu, B., Kara, E. E., & Sak, T. (2016). Use of worms in soil heavy metal removal (In Turkish). *KSU, Journal of Natural Sciences*, 19(2), 201-207.
- [42] Mattigod, S. V., & Page, A. L. (1983). Assessment of metal pollution in soils. In I. Thornton, Ed. *Applied environmental geochemistry*, pp. 355-394 Academic Press. London.
- [43] Kabata-Pendias, A. (2001). Trace elements in soils and plants. *CRC Press*, 3rd Edition, 10, 208-212.
- [44] Kabata-Pendias A., & Pendias, H. (1992). Trace Elements in Soils and Plants. 2nd ed. *CRC Press*.
- [45] Scheffer, F., & Schachtschabel, P. (1989). Textbook of soil science 12. New Edition, *Aufl, Unter Mitarb, Von W.R. Fischer*, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.



Gün İçi Piyasası Elektrik Fiyat Tahmini için Eksik Verilerin Tamamlanması

Salih Gündüz¹, Umut Uğurlu², İlkay Öksüz^{3*}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4282-7204), gunduzs20@itu.edu.tr

² Bahçeşehir Üniversitesi, İktisadi İdari Sosyal Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6183-969X), umut.ugurlu@eas.bau.edu.tr

^{3*} İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6478-0534), oksuzilkay@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.908860)

ATIF/REFERENCE: Gündüz, S., Uğurlu, U. & Öksüz, İ. (2021). Gün İçi Piyasası Elektrik Fiyat Tahmini için Eksik Verilerin Tamamlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 334-340.

Öz

Türkiye regüle elektrik piyasasında, gün içi piyasasının ticaret hacmi gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum piyasa katılımcıları için yüksek doğrulukta tahmin yapabilmeyi önemli hale getirmektedir. Gün içi piyasasında sürekli müzayede şeklinde alışveriş yapılmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle Türkiye Gün İçi Piyasası elektrik fiyatlarının saatlik ağırlıklı ortalamaları alınarak, veri tahmin problemine hazır hale getirilmiştir. Piyasada işlem yapılmayan saatler bulunduğundan, eksik veri problemi ile karşılaşmıştır. Elektrik fiyat tahmin literatüründe bu problemin çözümüne yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada fiyat tahmini için kullanılacak olan eğitim verilerindeki eksiklerin nasıl tamamlanacağı üzerinde durulmuştur. Eksik veri tamamlama yöntemleri uygulamaları karşılaştırılmış, tek değişkenli Lasso yöntemi ile tahminler yapılarak, sonuçlar raporlanmıştır. Eksik verileri tamamlayarak tahmin yapmanın sonuca istatistiksel olarak anlamlı şekilde katkısı olmuştur. Sonuçlarımız, eksik verileri Gün Öncesi Piyasası değerleri ile tamamlamanın en başarılı yöntem olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik fiyat tahmini, Gün içi piyasası, Gün öncesi piyasası, Eksik veriler, Lasso.

Data Imputation for Electricity Price Forecasting in the Intraday Market

Abstract

Trading volume of the Turkish Intraday Electricity Market is rapidly increasing. This amplifies the significance of accurate electricity price forecasts for the market players. The trading method in the intraday market is continuous trading. In this study, data is prepared to use in the price forecasting by taking a weighted average of the hourly prices. Missing value problem is encountered because of the hours without transaction. To the best of our knowledge, there is no existing study which deals with this problem in the electricity price forecasting literature. In this article, we focused on imputing values for missing data to use them in the electricity price forecasting. Missing value methods are tested, forecasts are made by univariate lasso regression and the results are compared. Making forecasts by imputing data has increased the performance in a statistically significant manner. Our results showed that data imputation with day-ahead prices is the best method.

Keywords: Electricity price forecasting, Intraday market, Day-ahead market, Missing data, Lasso.

* Sorumlu Yazar: oksuzilkay@itu.edu.tr

1. Giriş

1.1. Genel Açıklamalar

1990'ların başından itibaren birçok ülkede elektrik ticareti, devlet kontrolündeki tekeli anlaşılan liberal bir yapıya dönüşmüştür (Weron, 2014). Elektrik, ekonomik olarak verimli bir şekilde depolanamaması ve arz talep dengesinin gerekliliği açısından özel bir emtiadır (Shahidehpour ve diğ., 2002). Yapılan çalışmalar elektrik fiyatlarının öngörmesi zor dalgalanmalar içerdiğini göstermektedir (Zareipour ve diğ., 2007). Elektrik fiyatlarının dalgalı, durağan olmayan, çoklu mevsimsel ve yüksek miktarda aykırı değerler içeren yapısı tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır (Monteiro ve diğ., 2016). Yenilenebilir enerji kaynaklarının artması elektrik fiyatlarını daha da dalgalı hale getirmiştir (Lago ve diğ., 2018). Doğası gereği güç bir problem olan elektrik fiyat tahmini konusuna araştırmacıların ilgisi günden güne artış göstermiştir (Nowotarski ve Weron, 2018).

Enerjinin etkin kullanılması ile üretici ve tüketicilerin faydası için arz ve talep dengesinin anlık olarak sağlanması gerekmektedir. Günümüzde elektrik ticareti ikili anlaşmalar, gün öncesi ve gün içi ticaret şeklinde yapılmaktadır. İkili anlaşmalar uzun süreli olduğundan negatif ya da pozitif yönlü dengesizlikler oluşabilmekte, elektrik fazlası ya da azlığı söz konusu olabilmektedir. Bu dengesizlik gün öncesi ve gün içi piyasalarında giderilmeye çalışılmaktadır. Gün öncesi piyasasında katılımcılar teslimattan bir gün önce saatlik alışı veya satış teklifleri vermekte ve piyasa yapıcı tarafından bir optimizasyon algoritması ile teklifler eşleştirilmektedir. Teklif verilen günün her bir saati için tekil elektrik fiyatları açıklanmaktadır. Gün öncesi piyasasına rağmen dengesizliğe düşen katılımcıları dengelemek için ise gün içi piyasası devreye girmektedir. Gün içi piyasasında işlemler sürekli olarak anlık yapılabilmekte, aynı saat için farklı fiyatlar oluşabilmekte, teklifler teslimattan bir saat öncesi gibi kısa bir süreye kadar verilebilmektedir. Bu piyasa, yapısı gereği, katılımcılarına önemli derecede esneklik sağlamaktadır. Bugüne dek elektrik piyasasındaki araştırmaların önemli bir kısmı gün öncesi elektrik fiyat tahmini hususunda yoğunlaşmıştır, fakat son zamanlarda gün içi piyasasının ticaret hacminin artması ile araştırmacıların bu alana olan ilgisi de artmıştır (Kiesel ve Paraschiv, 2017).

1.2. Dünyada Gün İçi ve Gün Öncesi Piyasasında Yapılan Çalışmalar

Weron (2014) elektrik fiyat tahmin yöntemlerini; oyun teorisi temelli, çok faktörlü, indirgenmiş form, istatistiksel yöntemler ve makine öğrenmesi yöntemleri olarak ayırmıştır. İstatistiksel yöntemler ve makine öğrenmesi yöntemleri diğerlerine göre daha başarılı sonuçlar göstermektedir. Birçok çalışma istatistiksel yöntemlerin başarılı sonuçlar gösterdiğini belirtse de, M4 tahmin yarışmasını melez bir model kazanmıştır (Smyl, 2020). Lago ve diğ. (2018) bu alanda geniş ölçekli bir çalışma yapmış, 27 farklı yöntemi karşılaştırmıştır. Gün öncesi piyasasında yapılan çalışmada makine öğrenmesi yöntemleri daha başarılı çıkmıştır. Elektrik fiyat tahmininde modeller tek değişkenli veya çok değişkenli olarak oluşturulabilir. Tek değişken olarak geçmiş elektrik fiyatları kullanılır. Çok değişkenli modellerde elektrik fiyatlarına ek olarak hava durumu tahmini, üretim ve talep tahmini, tatil günleri, takvim bilgileri gibi veriler ilave edilebilir; ancak yine gün öncesi piyasası için yapılan bir çalışma tek değişkenli modellerin de çok değişkenli modellere yakın ölçüde iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Ziel ve Weron, 2018). Son

yıllarda gün içi piyasasına yönelik araştırmaların da arttığı gözlemlenmektedir. Yapılan literatür taraması birçok piyasada gün içi elektrik tahmini çalışmalarının yöntemlerini ve sonuçlarını göstermektedir (Shinde ve Amelin, 2018). Uniejewski ve diğ. (2019) ile birlikte Narajewski ve Ziel (2019) ID₃-Price isimli teslimata çok yakın zamanlı fiyatları kullanarak, Alman piyasasında tahmin yapmışlardır. Monteiro ve diğ. (2016) ile Andrade ve diğ. (2017) 6 oturumlu İberya piyasasında çalışmışlardır. Bu çalışmalardan birisi yapay sinir ağları, diğeri ise olasılığa dayalı tahmin üzerine olmuştur. Kulakov ve Ziel (2019) yenilenebilir enerji tahmininin elektrik fiyatları üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

1.3. Türkiye'de Gün İçi ve Gün Öncesi Piyasasında Yapılan Çalışmalar

Türkiye'de 2001 yılında çıkarılan 4628 sayılı elektrik piyasası kanunuyla serbest elektrik ticaretine geçilmiştir. Elektrik piyasasındaki dönüşüm ve 2011'de gün öncesi piyasasının açılmasıyla elektrik fiyat tahmini önemli hale gelmiştir (Bicil, 2015). 2012 yılında yapılan bir çalışmada deterministik ve rassal süreçler ayrı ayrı irdelenerek tahmin yapılmış; ancak piyasa çok yeni olduğu için yeteri kadar veri ile çalışma imkânı bulunamamıştır (Talasli, 2012). Radyal tabanlı fonksiyon ağları ve yapay sinir ağları gibi yöntemler de Gün Öncesi Piyasası elektrik fiyat tahmininde uygulanmıştır. (Özyildirim ve Beyazıt, 2014; Kölmek ve Navruz, 2015). Elektrik tüketim tahmininde yapılan bir çalışma da bu yöntemlerin potansiyelini göstermektedir (Aydın ve Toros, 2018). Son yıllarda popüler olan derin öğrenme yöntemlerinden yinelenen sinir ağları, istatistiksel modellere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir (Ugurlu ve diğ., 2018a; Ugurlu ve diğ., 2018b). Transfer öğrenmesi yöntemiyle Avrupa'daki piyasalardan faydalanılarak Türkiye Piyasası'nda gün öncesi fiyat tahmini gerçekleştirilmiştir (Gunduz ve diğ., 2020). Türkiye'de gün içi piyasası ise 2015 yılında işleme başlamıştır. Türkiye gün içi piyasasında henüz çok sınırlı sayıda araştırma mevcuttur. Bu çalışmalarda yinelenen sinir ağları gün içi piyasasına uygulanmıştır (Yorulmuş ve diğ., 2018; Oksuz ve Ugurlu, 2019).

1.4. Gün İçi Piyasasında Lasso ile Fiyat Tahmini ve Katkılarımız

Lasso, hataların karesini minimize eden, öznelik seçimi açısından başarılı bir yöntemdir (Tibshirani, 1996). Ziel ve diğ. (2016) çalışmalarında Alman/Avusturya EPEX marketinde sabahın erken saatleri ile akşam saatlerinin farklı özellikler gösterdiğini belirtmiştir. Alman EPEX piyasası üzerinde yapılan diğer bir çalışmada, gün öncesi fiyatı ve yakın saatlerdeki gün içi fiyatlarının sonuca etkisinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Uniejewski ve diğ., 2019). Son olarak, yapılan bir diğer çalışmada naif ve lasso yöntemleri birleştirilerek, naif sonuçlara üstünlük sağlanmıştır (Marcjasz ve diğ., 2020). Tüm bu çalışmalar ve literatür taraması çalışması (Shinde, 2018) incelendiğinde, eksik verilerin tamamlanması ile ilgili bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bu makalede, eksik verilerin tamamlanması için, zaman serisi eksik verileri tamamlama yöntemleri kullanılmıştır (Lepot ve diğ., 2017). Bu yöntemler karşılaştırılmış ve tahminlere etkisi gözlenmiştir.

Çalışmanın materyal bölümünde veri ve istatistiksel özellikler tartışılmaktadır. Yöntem bölümünde ise kullanılan tahmin ve eksik verileri tamamlama yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde yapılan deneylerin sonuçları verilmiş ve bu sonuçlar değerlendirilmiştir.

Sonuç bölümünde, çalışmanın önemi, literatüre katkısı ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar belirtilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan veriler EPIAŞ'tan elde edilmiştir (EPIAŞ, 2020). Veriler 01/07/2015 ile 30/06/2018 tarihleri arasındaki gün içi ağırlıklı ortalama fiyat ve gün öncesi piyasa takas fiyatlarından oluşmaktadır. 01/07/2015 ile 30/06/2017 tarihleri arasındaki 2 yıl eğitim verisi, geriye kalan 1 yıl ise test verisi olarak kullanılmıştır. Modelimizin bağımlı değişkeni gün içi fiyatları olup, gün öncesi fiyatları bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Veriler ve uygulanan yöntemlerin kısaltmaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kısaltmalar

Kısaltma	Açıklama
GÖP	Gün öncesi piyasası
GİP	Gün içi piyasası
GÖP _t	Gün öncesi piyasasında t anındaki fiyat
GİP _t	Gün içi piyasasında t anındaki fiyat
GİP _{t±}	Gün içi piyasasında belirtilen saatten t saat önceki veya sonraki fiyat
GİP _o	Gün içi piyasası, tüm fiyatların ortalaması
GİP _{GSO}	Gün içi piyasası, günün saatlerine göre ortalama fiyat
GİP _{HSo}	Gün içi piyasası, haftanın saatlerine göre ortalama fiyat
DTY	Doğrusal tamamlama yöntemi
ETY	En yakın tamamlama yöntemi
KTY	Kübik tamamlama yöntemi

Şekil 1'de GÖP ve GİP'teki saatlere göre ortalamalar incelendiğinde iki eğrinin birlikte hareket ettikleri gözlenmiştir. Fiyatların günün erken saatlerinde oldukça düşüş gösterdiği, mesai saatlerinde ise yükseldiği görülmüştür. Yine Pazar günü diğer günlere göre daha düşük fiyatlar gözlemlenmektedir. Öğle arası saatlerindeki düşüşler de dikkat çekmiştir.

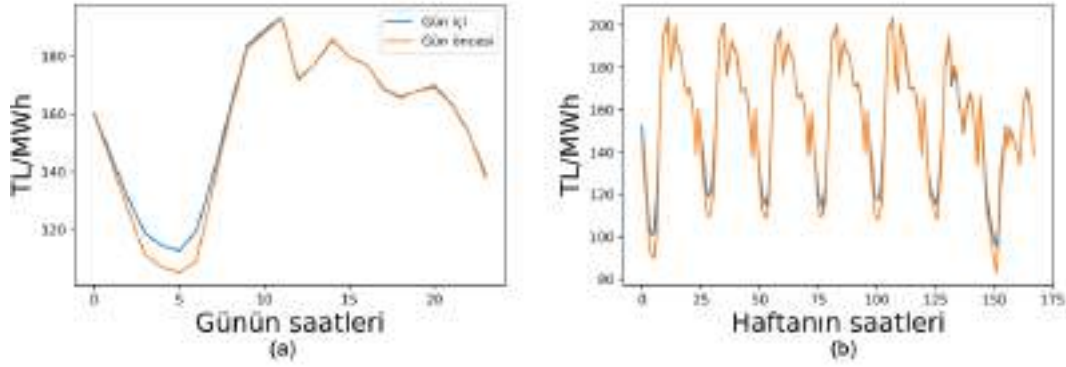
Tablo 2'de, ortalama fiyatların elektrik talebinin yüksek olduğu mesai saatleri içerisinde yüksek olduğu görülmüştür. 03:00-06:00 saatleri arasında talep düşük olduğundan, görece düşük ortalama fiyatlar gözlenmiştir. En yüksek ortalama fiyat saat 11:00'de, en yüksek standart sapma ise saat 14:00'de görülmüştür. En düşük değerler genelde 0'a yakın çıkmıştır. Türkiye gün içi piyasasında negatif değer oluşumuna piyasa

yapıcı tarafından izin verilmemektedir. Saat 20:00 ve 21:00'deki en düşük değerler, diğer saatlere göre oldukça yüksek çıkmıştır. Ortalama ve ortanca değerlerin yakın olması dağılımın normale yakın olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Günün saatlerine göre gün içi elektrik fiyatları (Türk Lirası/MWh) istatistikleri

Saatler	Ortalama	Standart Sapma	En küçük	En büyük	Ortanca
0	160.13	33.89	3.77	238.35	159.65
1	145.29	36.30	5	242.95	144.81
2	130.80	37.72	1	228	132.23
3	118.74	43.31	0.25	227.88	121.13
4	114.34	44.63	0.43	227.42	117.86
5	112.65	44.53	0.87	227.88	114.14
6	119.40	50.31	0.15	230	125.25
7	139.00	45.77	0.13	237.32	143.74
8	162.33	46.74	0.1	249.78	169.69
9	183.78	43.45	1.01	717.41	195.24
10	188.98	45.76	6.4	996.71	196.98
11	193.33	47.62	7.45	1152.56	200.73
12	172.07	47.39	6.52	994.87	172.71
13	177.50	45.58	6.6	792.57	178.45
14	185.55	62.50	6.79	1777.7	190.00
15	179.60	55.59	8.34	1446.21	180.82
16	177.09	45.36	6.86	777.33	179.18
17	168.75	55.17	6.43	1141.38	169.57
18	165.90	45.66	8.99	733.49	169.15
19	167.86	38.31	11.98	511.62	168.88
20	169.34	34.63	51.05	470.87	168.68
21	163.44	34.19	50.88	304.07	161.40
22	153.41	35.23	5.08	253.16	151.08

23	139.28	38.19	4	252.15	140.00
----	--------	-------	---	--------	--------



Şekil 1. Gün içi ve gün öncesi piyasasında; (a) Günün saatlerine göre ortalama elektrik fiyatları, (b) Haftanın saatlerine göre ortalama elektrik fiyatları

Eğitim verileri incelendiğinde; 17544 kayıttan 2359'unun (%13,45) boş olduğu görülmüştür. Eksik veriler rastgele eksik veya rastgele olmayan şekilde eksik olarak iki şekilde ele alınmaktadır (Donders ve diğ., 2006).

2.1. Metot

2.1.1. Eksik Verileri Tamamlama Yöntemleri

Eksik verileri tamamlama, istatistiksel yöntemler ve makine öğrenmesi alanlarında bir çok çalışmanın ortak problemidir (Donders ve diğ., 2006). Bu çalışmada kullandığımız veri tek değişkenli bir veridir. Bu çalışma tekil eksik veri tamamlama yöntemlerine odaklanmıştır (Norazian ve diğ., 2008). Bu yöntemler Tablo 1'de gösterilmiştir. GİP₀ yönteminde tüm elde edilen değerlerin ortalaması ile eksik veriler tamamlanmıştır. Çalışmamızda kullanılan GÖP_t, GİP_{GSO}, GİP_{HSO}, GİP_{±24} ve GİP_{±168} yöntemlerinde deterministik bir yaklaşımla eksik veriler tamamlanmıştır. GİP_{±t} yöntemlerinde doldurulmak istenen değer; t saat öncesine, eğer o değer eksikse, t saat sonrasına bakılarak, eğer bu ikisi de eksikse GİP_{GSO} veya GİP_{HSO} kullanılarak doldurulmuştur. Elektrik fiyatlarında bir gün önceki ve bir hafta önceki değerler Şekil 1'de mevcut değere çok yakın görülmüştür. GÖP_t değerinin de GİP_t ile yüksek oranda ilişkili olduğu görülmüştür (Pape ve diğ., 2016). Geriye kalan DTY, ETY ve KTY ise eksik verileri tamamlamak için kullanılan interpolasyon yöntemleridir (Norazian ve diğ., 2008). Çalışmada önce gün içi ve gün öncesi arasındaki fark (spread) değerleri hesaplanıp, fark üzerinde interpolasyon yapılmıştır. DTY'de iki nokta arasındaki veriler düz bir çizgi ile tamamlanmıştır:

$$f_1(x) = b_0 + b_1(x - x_0) \quad (1)$$

Burada x bağımsız değişken, x_i ($i=0,1,2,\dots$) bağımsız değişkenin bilinen bir değeridir ve b_i bilinmeyen katsayılardır. $f = f_i$ iken Denklem 1'den,

$$b_0 = f(x_0) \quad (2)$$

ve

$$b_1 = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \quad (3)$$

eşitlikleri bulunmuştur.

Eğer 3 nokta biliniyorsa interpolasyon 2.dereceden polinom ile hesaplanmıştır:

$$f_2(x) = b_0 + b_1(x - x_0) + b_2(x - x_0)(x - x_1) \quad (4)$$

b_0 ve b_1 katsayıları $f=f_2$ alınarak Denklem 2 ve Denklem 3'den elde edilmiştir. b_2 ise Denklem 5'teki gibi $f=f_2$ ile hesaplanmıştır.

$$b_2 = \frac{\frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} - \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}}{x_2 - x_0} \quad (5)$$

Uygun verilere KTY uygulanabilir. Kübik interpolasyon 3. dereceden polinomlarla hesaplanmıştır:

$$f_3(x) = b_0 + b_1(x - x_0) + b_2(x - x_0)(x - x_1) + b_3(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2) \quad (6)$$

b_0, b_1 ve $b_2, f=f_3$ alınarak Denklem 3-5'ten elde edilmiştir. b_3 ise şu şekilde bulunmuştur:

$$b_3 = \frac{\frac{f(x_3) - f(x_2)}{x_3 - x_2} - \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} - \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}}{x_3 - x_0} \quad (7)$$

Tek değişkenli ETY boşlukların uçlarındaki erişilebilir ilk verilerden yararlanarak tüm eksik verinin hesaplanmasıyla yapılmıştır:

$$\begin{cases} y_1 & \text{if } x \leq x_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{2} \\ y_2 & \text{if } x > x_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{2} \end{cases} \quad (8)$$

2.1.2. Tahmin Yöntemleri

2.1.2.1 Naif Model

Bu modelde karşılaştırma değeri olarak gün öncesi fiyatları ölçü alınmıştır. Denklem 9'da gösterildiği gibi tahmin yapılmak

istenen saatin ağırlıklı ortalama fiyatı, o saat için tespit edilen gün öncesi fiyatına eşitlenmiştir:

$$G\dot{I}P_t = G\dot{O}P_t \quad (9)$$

GÖP ile GİP arasındaki yüksek korelasyondan dolayı sonuç oldukça başarılı çıkmıştır. Naif modelin sonucu tahmin algoritmaları için iyi bir başlangıç noktası ifade etmektedir (Oksuz ve Ugurlu., 2019).

2.1.2.2 Lasso

Lasso, elektrik fiyat tahmininde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmuştur (Ziel, 2016; Uniejewski ve diğ., 2019; Marczasz ve diğ., 2020). Bu yöntem önemsiz öznitelikleri eleyerek girdi filtrelemesi yapmaktadır. Denklem 10, w parametresi ile hataların kareleri toplamını hesaplayan fonksiyonu göstermiştir.

$$\min_W \left(\frac{1}{2 * n_{samples}} \right) * ||Y - Fw||_2^2 + \lambda * ||w||_1 \quad (10)$$

Toplam örneklerin sayısı $n_{samples}$, Y gün içi fiyat, F ise girdi olarak kullanılan öznitelikler ve $\lambda \geq 0$ düzgünleştirme parametresidir. Eğer $\lambda = 0$ olursa denklem normal, en küçük kareler regresyonuna dönüşür. Lassoda girdi olarak kayan pencere yöntemi ile geçmiş fiyatlar kullanılmıştır (Frank ve diğ., 2001). Tahminler eksik veriler tamamlanmadan ve farklı tamamlama yöntemleri ile tamamlanarak yapılmıştır.

2.1.2. Değerlendirme Ölçeği

Bu çalışmada değerlendirme ölçeği olarak ortalama mutlak hata kullanılmıştır. Ortalama mutlak hata (OMH) Denklem 11’de gösterildiği gibi “N” örneklem sayısı boyunca gerçek değerler olan “G” ile tahmin değerleri “T” kullanılarak hesaplanmıştır.

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |G_i - T_i| \quad (11)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Kayan Pencere

Bu bölümde deneylerin sonuçları verilmiştir. Lasso yönteminde girdi belirlemek için eğitim verisi üzerinde kayan pencere yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle pencere tüm eğitim verisi üzerinde kaydırılmış, pencere içerisinde kalan değerler öznitelik vektörü; pencereden bir sonraki değer ise etiket olarak belirlenmiştir. Böylece problem bir denetimli öğrenme problemi haline getirilmiştir. Farklı uzunluklarda pencereler seçilerek tahmin testleri yapılmış, sonuçları ortalama mutlak hata olarak Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Test Verisinde farklı periyotlarda tahmin sonuçları

Pencere Uzunluğu	OMH
26	4.58
50	4.57
74	4.57
170	4.56

338	4.60
674	4.65

Elektrik fiyatlarında saatlik, günlük ve haftalık mevsimsellik görülmüştür. Bu yüzden 24 saat ve 168 saat önceki değerlerin yüksek korelasyonda olması beklenmiştir (Wolff ve Feuerriegel, 2017). Yapılan lasso tahminlerinin katsayıları ele alındığında en önemli 10 geçmiş değer 1, 168, 24, 72, 48, 169, 73, 3, 144, 21’inci saatler olarak sıralanmıştır. 169 ve 73 değerleri, 24 ve katları değerlerin komşu değerlerinin de önemli olabileceğini göstermiştir. Bu yüzden kayan pencere uzunluğu $24 * Gün + 2$ şeklinde belirlenmiştir. Testler sonucunda en başarılı pencere uzunluğunun 170 olduğu görülmüştür ve sonraki testlerde bu değer kullanılmıştır.

3.2. Eksik Verileri Tamamlamanın Tahmin Sonuçlarına Etkisi

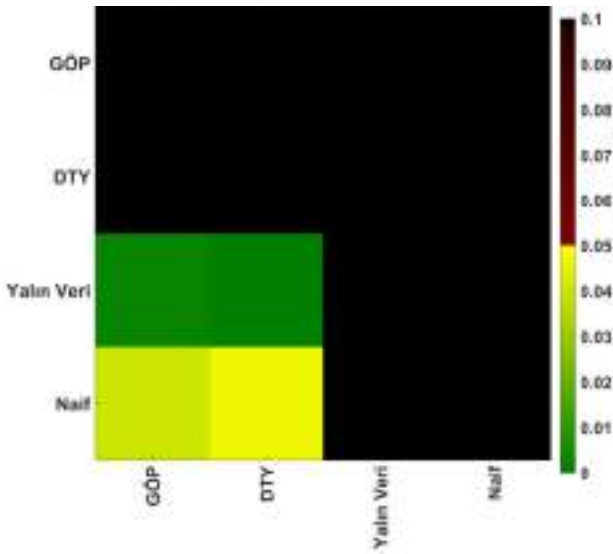
Pencere belirlendikten sonra eksik veri tamamlama yöntemleri ile eksik veriler tamamlanmış ve tahminler yapıldıktan sonra Tablo 4’teki sonuçlar elde edilmiştir. Yalın veri (eksik veriler tamamlanmadan) ile tahminler yapıldığında OMH 4.89 bulunmuştur. GÖP_t 4.56 OMH ile en başarılı yöntem olarak gözlemlenmiştir. Interpolasyon yöntemleri veri tamamlama sayesinde yalın veriden daha iyi performans vermektedir, ancak GÖP fiyatından daha başarısız tahminlere yol açmıştır. En başarılı interpolasyon yöntemi DTY olarak gözlemlenmektedir. GÖP ve interpolasyon yöntemleri dışında naif yöntem geçilememiştir.

Tablo 4 Eksik verileri tamamlama yöntemlerinin test verilerinde Lasso tahmin sonuçlarına etkisi

Yöntem	Ortalama Mutlak Hata
GÖP _t	4.56
DTY	4.59
ETY	4.59
KTY	4.65
Yalın veri	4.89
GİP _{±168}	6.08
GİP _{H50}	6.23
GİP _{±24}	6.33
GİP _{G50}	6.56
Genel ortalama	7.69

3.3. Diebold –Mariano Testleri

Tahmin sonuçlarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını göstermek için Diebold-Mariano (DM) testi uygulanmıştır (Diebold ve Mariano, 2002). Bu testte naif yöntem, yalın veri (eksik veriler tamamlanmadan) ile yapılan tahmin ve Tablo 4'teki en iyi iki yöntem karşılaştırılmıştır. Yatay eksen üzerindeki değerlerin düşey eksen üzerindeki yöntemlerden istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde iyi olup olmadığı Şekil 2'de gösterilmiştir. Sağ ekseninde gösterilen p-değerlerinin 0'a yakın olması x-ekseninde ismi yazılı olan yöntemin y-ekseninde ismi yazılı yöntemden istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Tahminde kullanılan yöntemlerin Diebold-Mariano test sonuçları. GOP ve DTY ile veri tamamlama Yalın veriyi kullanmaktan istatistiksel anlamlı derecede iyi sonuç vermiştir.

DM testleri incelendiğinde, eksik veri tamamlamanın tahmine önemli derecede faydası olduğu görülmüştür. Naif modelin oldukça başarılı olmasından dolayı bu yöntemi geçmek zor olmuştur. GOP ve DTY yüksek derecede olmasa da istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde naif modeli geçebilmiştir.

4. Sonuç

Bu makalede gün içi elektrik fiyat tahmininde eksik verileri tamamlamadaki açık üzerinde çalışılmıştır. Gün içi elektrik fiyat tahmininin, verilerin özellikleri nedeniyle, zor bir problem olduğu bilinmektedir (Zareipour ve diğ., 2007). GOP ile GİP verilerinin benzer özellikler içerdiği görülmüş, GOP fiyatları eksik verileri tamamlamada kullanılmaya uygun bulunmuştur. Makalede eksik verileri tamamlama, zaman serisi problemi özelinde ele alınmıştır. Genel ortalama, GİP_{GSO}, GİP_{H50}, GİP_{±24} ve GİP_{±168} yöntemleri tahmin sonuçlarını olumsuz yönde etkilemişlerdir. İnterpolasyon yöntemleri olumlu katkıda bulunurken, en başarılı yöntem olarak GOP bulunmuştur. Gelecekte gün içi piyasasında eksik verilerin tamamlanması için derin öğrenme yöntemleri denenebilir. OMH'yi azaltmak için tahmin modeli olarak derin öğrenme modelleri veya hibrit modeller kullanılabilir (Marcjasz ve diğ., 2020).

5. Teşekkür

Bu çalışma, İTÜ-BAP Proje No: MAB-2021-42605 uyarınca İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. İlkay Öksüz, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 118C353 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Ancak yayın ile ilgili tüm sorumluluk yayının/tebliğin sahibine aittir. TÜBİTAK'tan alınan maddi destek, yayının içeriğinin bilimsel anlamda TÜBİTAK tarafından onaylandığı anlamına gelmez.

Kaynakça

- Andrade, J. R., Filipe, J., Reis, M., & Bessa, R. J., 2017, "Probabilistic price forecasting for day-ahead and intraday markets: Beyond the statistical model", Sustainability, Cilt 9, sayı 11, ss. 1990.
- Bicil, İ. M., 2015, Elektrik piyasasında fiyatlandırma ve Türkiye elektrik piyasasında fiyat tahmini, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.
- Diebold, F. X., & Mariano, R. S., 2002, "Comparing predictive accuracy", Journal of Business & economic statistics, Cilt 20, sayı 1, ss. 134-144.
- Donders, A. R. T., Van Der Heijden, G. J., Stijnen, T., & Moons, K. G., 2006, "A gentle introduction to imputation of missing values", Journal of clinical epidemiology, Cilt 59, sayı 10, ss.1087-1091.
- EPİAŞ, Şeffaflık Platformu, <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/>, ziyaret tarihi:25 Ağustos 2020.
- Frank, R. J., Davey, N., & Hunt, S. P., 2001, "Time series prediction and neural networks", Journal of intelligent and robotic systems, Cilt 31, sayı 1-3, ss. 91-103.
- Gunduz, S., Ugurlu, U., & Oksuz, I., 2020, "Transfer Learning for Electricity Price Forecasting", arXiv preprint arXiv:2007.03762.
- Kiesel, R., & Paraschiv, F., 2017, "Econometric analysis of 15-minute intraday electricity prices", Energy Economics, Cilt 64, ss. 77-90.
- Kölmek, M. A., & Navruz, İ., 2015, "Forecasting the day-ahead price in electricity balancing and settlement market of Turkey by using artificial neural networks", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Cilt 23, sayı 3, ss. 841-852.
- Kulakov, S., & Ziel, F., 2019, "The impact of renewable energy forecasts on intraday electricity prices", arXiv preprint arXiv:1903.09641.
- Lago, J., De Ridder, F., & De Schutter, B., 2018, "Forecasting spot electricity prices: Deep learning approaches and empirical comparison of traditional algorithms" Applied Energy, Cilt 221, ss. 386-405.
- Lepot, M., Aubin, J. B., & Clemens, F. H., 2017, "Interpolation in time series: An introductive overview of existing methods, their performance criteria and uncertainty assessment" Water, Cilt 9, sayı 10, ss. 796.
- Marcjasz, G., Uniejewski, B., & Weron, R., 2020, "Beating the Naïve—Combining LASSO with Naïve Intraday Electricity Price Forecasts", Energies, Cilt 13, sayı 7, ss. 1667.
- Monteiro, C., Ramirez-Rosado, I. J., Fernandez-Jimenez, L. A., & Conde, P., 2016, "Short-term price forecasting models based on artificial neural networks for intraday sessions in the Iberian electricity market" Energies, Cilt 9, sayı 9, ss. 721.

- Narajewski, M., & Ziel, F., 2019, "Econometric modelling and forecasting of intraday electricity prices" *Journal of Commodity Markets*, Cilt 19, ss. 100107.
- Norazian, M. N., Shukri, Y. A., & Azam, R. N., 2008, "Estimation of missing values in air pollution data using single imputation techniques", *ScienceAsia*, Cilt 34, ss. 341-345
- Nowotarski, J., & Weron, R., 2018, "Recent advances in electricity price forecasting: A review of probabilistic forecasting", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 81, ss. 1548-1568.
- Oksuz, I., & Ugurlu, U., 2019, "Neural network based model comparison for intraday electricity price forecasting" *Energies*, Cilt 12, sayı 23, ss. 4557.
- Özyildirim, C., & Beyazit, M. F., 2014, "Forecasting and modelling of electricity prices by radial basis functions: Turkish electricity market experiment" *Iktisat Isletme ve Finans*, Cilt 29, sayı 344, ss. 31-54.
- Pape, C., Hagemann, S., & Weber, C., 2016, "Are fundamentals enough? Explaining price variations in the German day-ahead and intraday power market", *Energy Economics*, Cilt 54, ss. 376-387.
- Shahidehpour, M., Yamin, H., & Li, Z., 2003, "Elektrik Fiyat Tahmini", *Market operations in electric power systems: forecasting, scheduling, and risk management*, John Wiley & Sons, Wiley, ss 57-113
- Shinde, P., & Amelin, M., 2019, "A Literature Review of Intraday Electricity Markets and Prices". In 2019 IEEE Milan PowerTech, June, ss. 1-6.
- Smyl, S., 2020, "A hybrid method of exponential smoothing and recurrent neural networks for time series forecasting", *International Journal of Forecasting*, Cilt 36, sayı 1, ss. 75-85.
- Talasli, I., 2012, "Stochastic Modeling of Electricity Markets", *Doktora Tezi*, Middle East Technical University, Financial Mathematics, Ankara.
- Tibshirani, R., 1996, "Regression shrinkage and selection via the lasso" *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, Cilt 58, sayı 1, ss. 267-288.
- TOROS, H., & Aydın, D. (2018). Prediction of Short-Term Electricity Consumption by Artificial Neural Networks Using Temperature Variables. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 393-398.
- Ugurlu, U., Oksuz, I., & Tas, O., 2018, "Electricity price forecasting using recurrent neural networks. *Energies*", Cilt 11, sayı 5, ss. 1255.
- Ugurlu, U., Tas, O., Kaya, A., & Oksuz, I., 2018, "The financial effect of the electricity price forecasts' inaccuracy on a hydro-based generation company, *Energies*", Cilt 11, sayı 8, ss. 2093.
- Uniejewski, B., Marcjasz, G., & Weron, R., 2019, "Understanding intraday electricity markets: Variable selection and very short-term price forecasting using LASSO", *International Journal of Forecasting*, Cilt 35, sayı 4, ss. 1533-1547.
- Weron, R., 2014, "Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future" *International journal of forecasting*, Cilt 30, sayı 4, ss. 1030-1081.
- Yorulmus, H., Ugurlu, U., & Tas, O., 2018, "A Long Short Term Memory Application On The Turkish Intraday Electricity Price Forecasting", *PressAcademia Procedia*, Cilt 7, sayı 1, ss. 126-130.
- Zareipour, H., Bhattacharya, K., & Canizares, C. A., 2007 "Electricity market price volatility: The case of Ontario", *Energy policy*, Cilt 35, sayı 9, ss. 4739-4748.
- Ziel, F., 2016 "Forecasting electricity spot prices using lasso: On capturing the autoregressive intraday structure" *IEEE Transactions on Power Systems*, Cilt 31, sayı 6, ss. 4977-4987.
- Ziel, F., & Weron, R., 2018, "Day-ahead electricity price forecasting with high-dimensional structures: Univariate vs. multivariate modeling frameworks", *Energy Economics*, Cilt 70, ss. 396-420.



Diffusivity Control of Heat Transfer Process Using Optimality Conditions

Seda Göktepe Körpeoğlu^{1*}

^{1*} Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Mathematical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7146-0846), sgoktepe@yildiz.edu.tr

(First received 5 April 2021 and in final form 27 June 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.909910)

ATIF/REFERENCE: Göktepe Körpeoğlu, S. (2021). Diffusivity Control of Heat Transfer Process Using Optimality Conditions. *European Journal of Science and Technology*, (25), 341-346.

Abstract

In this paper, a distributed parameter system expressed as a parabolic partial differential equation governed by a diffusivity control is considered. A modal space expansion approach is used to convert the distributed parameter system into a lumped parameter system. Thereafter, Pontryagin's maximum principle is used to compute the optimal control function that leads to a nonlinear two-point boundary value problem (TPBVP). An iterative numerical technique, variation of extremals is used to solve the nonlinear TPBVP. The feasibility and applicability of the proposed solution is demonstrated by numerical simulations generated in MATLAB.

Keywords: Diffusivity control, Maximum principle, Parabolic PDE.

Optimallik Koşulları Kullanılarak Isı Transferi İşleminin Yayılım Kontrolü

Öz

Bu çalışmada, yayılım kontrolü ile yönetilen parabolik kısmi diferansiyel denklem olarak ifade edilen dağıtılmış bir parametre sistemi ele alınmıştır. Dağıtılmış parametre sistemini toplu bir parametre sistemine dönüştürmek için bir özfonksiyon genişletme yaklaşımı kullanılmıştır. Bundan sonra, Pontryagin'in maksimum prensibi, doğrusal olmayan iki noktalı sınır değeri problemine yol açan optimum kontrol fonksiyonunu hesaplamak için kullanılmıştır. Doğrusal olmayan iki noktalı sınır değer problemini çözmek için, yinelemeli sayısal bir teknik, variation of extremals, kullanılmıştır. Önerilen çözümün fizibilitesi ve uygulanabilirliği, MATLAB'da oluşturulan sayısal simülasyonlarla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yayılım kontrolü, Maksimum Prensibi, Parabolik KDD.

* Corresponding Author: sgoktepe@yildiz.edu.tr

1. Introduction

Parabolic equations can be used to model a variety of dissipative physical processes. In the field of distributed parameter system theory, there is a long tradition of study into the related control problems (Xu et al., 2011). Boundary conditions (boundary control), source terms (interior control) and diffusivity coefficients (diffusivity control) are some examples of physical actuation in parabolic partial differential equations (PDEs). Interior and boundary control issues have been thoroughly researched. However, controlling of PDEs using a diffusivity actuator has rarely been studied. Lin et al. discussed a parabolic system with a bilinear control and they proved the exact controllability of the system (Lin et al., 2007a). Xu et al. studied a controlled parabolic system with diffusivity, boundary and interior actuations. The solution of the reduced-order system obtained is computed with a successive scheme based on Picard approximation (Xu et al., 2007). Lin et al. investigated a nonlinear parabolic structure controlled by a bilinear control and an approximate null controllability result is presented (Lin et al., 2007b). The parabolic system's nonnegative approximate controllability is researched through a bilinear control (Khapalov, 2003). Körpeoğlu and Küçük introduced an approach containing modal space expansion, Pontryagin's maximum principle and steepest descent algorithm to solve a parabolic bilinear optimal control problem (Körpeoğlu and Küçük, 2018).

There are three distinct classes of solution methods for optimal control problems: Dynamic programming, direct methods and indirect methods. The method of dynamic programming leads to a nonlinear partial differential equation such as Hamilton-Jacobi-Bellman equations. In direct methods, calculus of variations, mathematical programming and state and/or control parametrization, optimal control problems are transformed into nonlinear optimization problems. As for an indirect method, Pontryagin's maximum principle is used to derive the necessary conditions for optimality. The obtained optimality conditions result in nonlinear two-point boundary-value problems. The solutions of TPBVPs are computed via iterative numerical solution techniques such as steepest descent, quasilinearization and variation of extremals methods (Kirk, 2004).

In this paper, it is aimed to obtain the optimal control function to a parabolic equation with a diffusivity control where a heat conduction process is studied as the model problem. Controlling the dynamic response of the system by using an accessible control is indicated by a quadratic performance index to be minimized. An indirect method based on Pontryagin's maximum principle is used to derive necessary conditions for the optimal control. This approach leads to a nonlinear two-point boundary value problem with split boundary conditions. The variation of extremals method is used as a solution procedure. Numerical calculations illustrate the theoretical approach's efficacy and applicability.

The paper is organized as follows. The optimal control problem formulation and uniqueness and controllability of the problem are examined in Section 2. In Section 3, modal control space problem is discussed to obtain reduced order model. In Section 4, derivation of the Pontryagin's maximum principle for the controlled system is introduced. A simulation study is presented in Section 5 using the variation of extremals method with numerical results to verify the competence of the introduced control algorithm. Section 6 contains the results and discussion. The paper's conclusion is stated in Section 7.

2. Optimal Control Problem

2.1. Problem Formulation

Consider a parabolic distributed parameter system that describes a heat transfer mechanism (Lin et al., 2007a) defined by the following relationship

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \Delta z + \chi_\omega u(t)(z - \xi(x, t)), \tag{1}$$

$$z(0, t) = z_B^{(0)}(t), \quad z(l, t) = z_B^{(l)}(t), \tag{2}$$

$$z(x, 0) = \varphi(x), \tag{3}$$

over $\Omega = \{(x, t): 0 \leq x \leq l, t_0 \leq t \leq t_f\}$. χ_ω is the characteristic function of ω , $u(t)$ is the control function to be determined optimally. Ω_t denotes a given time interval $(0, t_f)$ where t_f is a predetermined terminal time. $\varphi(x)$ is the initial profile and $z_B^{(0)}(t), z_B^{(l)}(t)$ are given functions on Ω_t . The term $u(t)(z - \xi(x, t))$ denotes the heat-exchange of the given substance at system at position x and time t with the surrounding medium of the temperature $\xi(x, t)$. The control function $u(t)$ is used as a catalysts that can accelerate or decelerate the reaction.

The following performance index functional is used to formulate the optimal control problem for the parabolic system (1)-(3).

$$\begin{aligned} \min_u J = & \frac{1}{2} \int_0^l \langle z_{t_f}(x), \mathcal{P}z_{t_f}(x) \rangle dx + \frac{1}{2} \int_\Omega \langle z(x), \mathcal{R}z(x) \rangle dx dt \\ & + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} \langle \mathcal{S}u, u \rangle dt \end{aligned} \tag{4}$$

where \mathcal{P} and \mathcal{R} are weighting operators, \mathcal{S} is the control weighting matrix. $z(x, t_f) = z_{t_f}(x)$ is the evaluated state at time $t = t_f$. The following functional space is defined with the inner product $\langle \cdot, \cdot \rangle$,

$$L^2(0, l) = \{f(x): \int_\Omega f^2(x) dx < \infty\}, \tag{5}$$

$$H^1(0, l) = \{f: f \in L^2(0, l) \text{ and } f' \in L^2\}. \tag{6}$$

Presume that the control set that is admissible is

$$U_{ad} = \{u(t): u(t) \in L^2(\Omega_t)\}. \tag{7}$$

Finding an optimal control function $u^*(t) \in U_{ad}$ that minimizes the performance index is required.

2.2. Uniqueness of the Solution

The existence of the solution for the optimal control problem (1)-(3) is considered in (Lin et al., 2007). The uniqueness of the problem is then illustrated next via the application of the energy method. The uniqueness of the system's solution is critical since it determines the control's uniqueness.

Lemma. Eq. (1) has a unique solution $z(x, t) \in L^2(\mathbb{R}^N)$ when subjected to Eqs. (2)-(3).

Proof. Assume there are two smooth solutions, z_1 and z_2 , that satisfy Eq. (1) with $\xi(x, t) = 0$. Then, with zero initial-boundary conditions, their difference, $\tilde{z} := z_1 - z_2$ satisfies Eq. (1).

$$\frac{\partial \tilde{z}}{\partial t} = \Delta \tilde{z} + \chi_\omega u(t)(\tilde{z} - \xi(x, t)), \tag{8}$$

$$\tilde{z}(0, t) = 0, \quad \tilde{z}(l, t) = 0, \tag{9}$$

$$\tilde{z}(x, 0) = 0. \tag{10}$$

The energy integral is now defined as follows:

$$E(\tilde{z}) = \frac{1}{2} \int_0^l |\tilde{z}(x, t)|^2 dx \tag{11}$$

which is always positive and decreasing. Let $\|\cdot\|$ stand for the L^2 norm on \mathbb{R}^N determined by

$$\|f\| = (\int_{\mathbb{R}^N} |f(x)|^2 dx)^{1/2}. \tag{13}$$

When you differentiate with respect to t Eq. (11), you get

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} E &= \int_0^l \tilde{z} \frac{\partial \tilde{z}}{\partial t} dx \\ &= \int_0^l \tilde{z} (\Delta \tilde{z} + \chi_\omega u(t) \tilde{z}) dx \\ &= \int_0^l \tilde{z} \Delta \tilde{z} dx + \int_0^l \chi_\omega u(t) \tilde{z}^2 dx. \end{aligned} \tag{14}$$

Using integrating by parts in the last integral results in

$$\frac{d}{dt} E = \tilde{z} \frac{\partial^2 \tilde{z}}{\partial x^2} \Big|_0^l - \int_0^l \left(\frac{\partial \tilde{z}}{\partial x} \right)^2 dx + \int_0^l \chi_\omega u(t) \tilde{z}^2 dx, \tag{15}$$

and we get the following equation

$$\frac{d}{dt} E = - \int_0^l \left(\frac{\partial \tilde{z}}{\partial x} \right)^2 dx + \chi_\omega u(t) \int_0^l \tilde{z}^2 dx \leq \chi_\omega u(t) \|\tilde{z}\|^2. \tag{16}$$

Then, we obtain

$$\frac{d}{dt} \|\tilde{z}\| \leq \chi_\omega u(t) \|\tilde{z}\|. \tag{17}$$

Now we apply Gronwall's lemma, and we get

$$\|z_1 - z_2\| \leq \|z_1 - z_2\|_{t=0} \exp \left(\int_0^t \chi_\omega u(r) dr \right). \tag{18}$$

As a result, the uniqueness of smooth solutions is immediately demonstrated.

To ensure the uniqueness of the solution given by Lemma proposed above, the corresponding control function $u(t)$ must be unique. Since the system has a unique solution and unique control function, the system is called observable. By taking Hilbert Uniqueness into account, the observability is equivalent to the controllability (Guliyev et al., 2007; Pedersen, 1999). Namely, the system is controllable.

3. Reduced Order Modeling (ROM)

To convert the optimal control of distributed parameter systems (1)-(3) into the optimal control of lumped parameter systems, the modal space expansion technique is used. As a result, the original parabolic PDE system can be approximated using a low-dimensional dynamical system.

To accomplish the transformation, a new parameter $y(x, t)$ is first applied to translate nonhomogeneous boundary conditions to homogeneous boundary conditions. By introducing

$$y(x, t) = z(x, t) - \frac{(l-x)}{l} z_B^{(0)}(t) - \frac{x}{l} z_B^{(l)}(t) \tag{19}$$

in Eq. (1), the following partial differential equation is obtained

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &= \frac{(x-l)}{l} \frac{\partial}{\partial t} \left(z_B^{(0)}(t) \right) - \frac{x}{l} \frac{\partial}{\partial t} \left(z_B^{(l)}(t) \right) \\ &+ u(t) \left(\chi_\omega y(t) - \frac{(l-x)}{l} z_B^{(0)}(t) \right. \\ &\left. - \frac{x}{l} z_B^{(l)}(t) - \xi(x, t) \right) \end{aligned} \tag{20}$$

subject to

$$y(x, 0) = \varphi(x) - \frac{(l-x)}{l} z_B^{(0)}(0) - \frac{x}{l} z_B^{(l)}(0), \tag{21}$$

$$y(0, t) = 0, \quad y(l, t) = 0. \tag{22}$$

In the following calculations, a truncated Fourier series expansion is used

$$y(x, t) \approx \sum_{k=1}^n \psi_k(x) w_k(t). \tag{23}$$

Indicating a complete orthonormal basis as

$$V = \{v: v, \frac{\partial v}{\partial x} \in L^2(\Omega), v|_{\partial\Omega} = 0\} \tag{24}$$

for $H(0, l)$, the solution $y(x, t)$ of the system is satisfied by multiplying both sides of Eq. (20) by a basis function v and integrating by parts

$$\begin{aligned} \int_0^l \frac{\partial y}{\partial t} v dx - \int_0^l \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} v dx &= \int_0^l \left(\frac{(x-l)}{l} \frac{\partial}{\partial t} \left(z_B^{(0)}(t) \right) \right. \\ &- \frac{x}{l} \frac{\partial}{\partial t} \left(z_B^{(l)}(t) \right) \Big) v dx \\ &+ \int_0^l u(t) \left(\chi_\omega y(t) - \frac{(l-x)}{l} z_B^{(0)}(t) \right. \\ &\left. - \frac{x}{l} z_B^{(l)}(t) \right) v dx - \int_0^l \xi(x, t) v dx \end{aligned} \tag{25}$$

where $y, v \in V$. If Eq. (23) for $y(x, t)$ is used in Eq. (25) and $v = \psi_j, j=1,2,\dots,n$, the finite dimensional system is obtained using the notations below ($D := \frac{\partial}{\partial x}$):

$$\frac{dw}{dt} = Mw + Nwu + Ku + L \tag{26}$$

where $w(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_n(t)) \in \mathbb{R}^n$, $M = (M_{jk}) \in \mathbb{R}^{n \times n}, K = K_j, L = L_j \in \mathbb{R}^n$. The finite dimensional approximation is represented by the vector $w(t)$. The initial values are defined by

$$w_j(0) = \langle y(x, 0), \psi_j \rangle. \tag{27}$$

The following notations are used in Eq. (26):

$$F_{jk} = \langle \psi_j, \psi_k \rangle = \int_0^l \psi_j(x) \psi_k(x) dx = \delta_{jk}, \tag{28}$$

$$\delta_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{if } j = k \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{29}$$

$$M_{jk} = \langle \psi_j, D^2 \psi_k \rangle = \int_0^l \psi_j(x) \frac{\partial^2 (\psi_k(x))}{\partial x^2} dx \tag{30}$$

$$N_{jk} = \int_0^l \chi_\omega \psi_j(x) dx \tag{31}$$

$$F_j = \int_0^l \left(\frac{(x-l)}{l} \frac{\partial(z_B^{(0)}(t))}{\partial t} - \frac{x}{l} \frac{\partial(z_B^{(l)}(t))}{\partial t} \right) \psi_j(x) dx \quad (32)$$

$$K_j = \int_0^l \left(\frac{(l-x)}{l} z_B^{(0)}(t) - \frac{x}{l} z_B^{(l)}(t) \right) \psi_j(x) dx \quad (33)$$

$$H_j = - \int_0^l \psi_j(x) \xi(x, t) dx \quad (34)$$

$$L_j = F_j + H_j \quad (35)$$

4. Pontryagin’s Maximum Principle

In 1956, Lev Pontryagin, a Russian mathematician, reformulated the control problem in terms of a Hamiltonian. It enables one to express the adjoint equations and optimality conditions in a very compact, general, and simple manner. Pontryagin's method is similar to, and also a generalization of, the classical variational method. To obtain the Euler equations, the classical variational approach requires that all functions, including the state and control variables, be continuously differentiable functions. By relaxing the optimality condition, Pontryagin's approach allows for piecewise-continuous solutions for the control input (Pontryagin, 1959).

The conditions in the Maximum principle are necessary but not sufficient for optimality. We need to look at the control region. U_{ad} must be convex. Then only then $(z(t), u(t))$ is an optimal pair.

The finite horizon optimal control problem defined in Eq. (4) can now be rewritten as

$$J = \frac{1}{2} [w(t_f)]^T P [w(t_f)] + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} (w^T R w + u^T S u) dt \quad (36)$$

P, R and S are symmetric positive semi-definite matrices which are the finite dimensional representations of \mathcal{P} , \mathcal{R} and \mathcal{S} .

Theorem. A canonical optimality condition is obtained, which is a nonlinear two-point boundary value problem by using the Pontryagin's Maximum Principle

$$\begin{cases} \frac{dw}{dt} = M w - S^{-1} \Lambda^T (N w + K)^2 + L \\ \frac{d\Lambda}{dt} = -R w - M^T \Lambda - N u^T \Lambda \\ \Lambda(t_f) = P w(t_f) \\ w(t_0) = w_0 \end{cases}$$

where P, R and S are positive semidefinite symmetric matrices, M, N, K and L are defined in Eqs. (30), (31), (33) and (35), respectively.

Proof. Consider the optimal control problem of the system Eqs. (26)-(27),

$$\frac{dw}{dt} = M w + N w u + K u + L \quad (37)$$

where $w(t)$ is the finite dimensional approximation to $y(x, t)$ and $u(t)$ is the control input. M, N, K and L are defined in Eqs. (30), (31), (33) and (35), respectively.

We minimize the following augmented cost functional,

$$\begin{aligned} J^*(w, u, \Lambda) = & \int_{t_0}^{t_f} \left\{ \frac{1}{2} (w^T R w + u^T S u) \right. \\ & \left. - \Lambda^T \left(\frac{dw}{dt} - M w - N w u - K u - L \right) \right\} dt \\ & + \frac{1}{2} [w(t_f)]^T P [w(t_f)] \end{aligned} \quad (38)$$

The functional becomes as following by establishing the Hamiltonian \mathcal{H} ,

$$\begin{aligned} J^*(w, u, \Lambda) = & \int_{t_0}^{t_f} \left\{ \mathcal{H}(t, w, u, \Lambda) - \Lambda^T \frac{dw}{dt} \right\} dt \\ & + \frac{1}{2} [w(t_f)]^T P [w(t_f)]. \end{aligned} \quad (39)$$

If (w, u, Λ) is a minimizer of J^*

$$\begin{aligned} \delta J^* = & \int_{t_0}^{t_f} \left\{ \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial w} \delta w + \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} \delta u + \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \Lambda} \delta \Lambda - \delta \left(\Lambda^T \frac{dw}{dt} \right) \right\} dt \\ & + \delta \left(\frac{1}{2} [w(t_f)]^T P [w(t_f)] \right) \\ = & 0. \end{aligned} \quad (40)$$

We get the following four optimality conditions after processing variational operations and integration by parts:

Firstly,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} = & 0 \\ u(t) = & -S^{-1} \Lambda^T (N w + K) \end{aligned} \quad (41)$$

Secondly,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial w} = & -\frac{d\Lambda}{dt} \\ \frac{d\Lambda}{dt} = & -R w - M^T \Lambda - N u^T \Lambda \end{aligned} \quad (42)$$

Thirdly,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \Lambda} = & \frac{dw}{dt} \\ \frac{dw}{dt} = & M w - S^{-1} \Lambda^T (N w + K)^2 + L \end{aligned} \quad (43)$$

Lastly,

$$P w(t_f) = \Lambda(t_f) \quad (44)$$

To obtain the control law in this proof, the Pontryagin's approach leads to a nonlinear two-point boundary-value problem that cannot be solved analytically. The combination of split boundary conditions and nonlinear differential equations makes solving the optimal control problem challenging. On a numerical example, an iterative numerical technique for evaluating optimal control and trajectories is discussed in the following section. Variation of extremals method is used as a numerical method.

5. Algorithm Based on Variation of Extremals

The following procedure explains how the variation of extremals method works to solve the nonlinear two-point boundary value problem (Kirk, 2004). The method of variation of

extremals is an algorithm that uses the observed values of $\Lambda(t_f)$ to adjust systematically the guessed values of $\Lambda(t_0)$. Newton's method is used for making systematic adjustments of the initial costate values.

Let's start with an overview of the steps involved in using the variation of extremals method:

1. Solve $\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} = 0$ for $u(t)$ in terms of $w(t), \Lambda(t)$, and substitute in the state and costate equations to produce the reduced differential equations.

2. Set the iteration index i to zero and guess $\Lambda^0(t_0)$, the costate's initial value.

3. Integrate the reduced state-costate equations and the influence function equations (45) and (46) with initial conditions (47) and (48), from t_0 to t_f , using $\Lambda(t_0) = \Lambda^i(t_0)$ and $w(t_0) = w_0$ as initial conditions. Only $\Lambda^i(t_f), w^i(t_f)$, and the state and costate influence matrices $P_\Lambda(\Lambda^i(t_0), t_f)$ and $P_w(\Lambda^i(t_0), t_f)$ should be saved.

$$\frac{d}{dt} [P_w(\Lambda^i(t_0), t)] = \left[\frac{\partial^2 \mathcal{H}}{\partial \Lambda \partial w} (t) \right]_i P_w(\Lambda^i(t_0), t) + \left[\frac{\partial^2 \mathcal{H}}{\partial \Lambda^2} (t) \right]_i P_\Lambda(\Lambda^i(t_0), t) \tag{45}$$

$$\frac{d}{dt} [P_\Lambda(\Lambda^i(t_0), t)] = \left[-\frac{\partial^2 \mathcal{H}}{\partial w^2} (t) \right]_i P_w(\Lambda^i(t_0), t) + \left[-\frac{\partial^2 \mathcal{H}}{\partial w \partial \Lambda} (t) \right]_i P_\Lambda(\Lambda^i(t_0), t) \tag{46}$$

$$P_w(\Lambda^i(t_0), t_0) = 0 \text{ (n \times n) zero matrix} \tag{47}$$

$$P_\Lambda(\Lambda^i(t_0), t_0) = I \text{ (n \times n) identity matrix} \tag{48}$$

$$P_\Lambda(\Lambda^i(t_0), t) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Lambda_1(t)}{\partial \Lambda_1(t_0)} & \frac{\partial \Lambda_1(t)}{\partial \Lambda_2(t_0)} & \dots & \frac{\partial \Lambda_1(t)}{\partial \Lambda_n(t_0)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Lambda_n(t)}{\partial \Lambda_1(t_0)} & \frac{\partial \Lambda_n(t)}{\partial \Lambda_2(t_0)} & \dots & \frac{\partial \Lambda_n(t)}{\partial \Lambda_n(t_0)} \end{bmatrix}_{\Lambda^i(t_0)} \tag{49}$$

$$P_w(\Lambda^i(t_0), t) = \begin{bmatrix} \frac{\partial w_1(t)}{\partial \Lambda_1(t_0)} & \frac{\partial w_1(t)}{\partial \Lambda_2(t_0)} & \dots & \frac{\partial w_1(t)}{\partial \Lambda_n(t_0)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial w_n(t)}{\partial \Lambda_1(t_0)} & \frac{\partial w_n(t)}{\partial \Lambda_2(t_0)} & \dots & \frac{\partial w_n(t)}{\partial \Lambda_n(t_0)} \end{bmatrix}_{\Lambda^i(t_0)} \tag{50}$$

4. Examine whether the termination criterion $\|\Lambda^i(t_f)\|$ is satisfied. If that's the case, run $\Lambda^i(t_0)$ one more time to reintegrate the state and costate equations and graph the optimal trajectory and control. If the stopping criterion is not met, use the iteration equation to find the value for $\Lambda^{(i+1)}(t_0)$, then go to step 3.

6. Simulation Study

We consider the controlled model below

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \Delta z + \chi_\omega u(t)(z - \xi(x, t)) \tag{51}$$

subject to

$$z(x, 0) = \sin(\pi x), \tag{52}$$

$$z(0, t) = 0, z(l, t) = 0. \tag{53}$$

With a diffusivity control parameter $u(t)$, the examined model is used to characterize the heat conduction. Coolant flow rate is a diffusivity control variable in the heat transfer process, whereas temperature is a state variable. From $x = 0$ to $x = l$, a *e-ISSN: 2148-2683*

diffusivity control is applied to a uniform rod of length with non-uniform temperature lying on the x -axis. A finite dimensional approximation $y(x, t)$ of $z(x, t)$ based on the modal space expansion approach is used to simulate the system composed by the nonlinear two-point boundary value problem and proposed diffusivity control.

The state equation can be expanded by a series of orthonormal basis functions $y(x, t) \approx \sum_{k=1}^n \psi_k(x) w_k(t)$, where $\psi_k(x) = \sqrt{2} \sin(k\pi x)$, which satisfy the homogeneous boundary conditions. The following finite dimensional system is obtained

$$\frac{dw}{dt} = Mw + Nwu + Ku + L$$

with initial condition $z(0) = \frac{\sqrt{2}}{2}$. The performance index to be minimized is

$$J = \frac{1}{2} [w(t_f)]^T P [w(t_f)] + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} (w^T R w + u^T S u) dt$$

where P, R and S are symmetric positive semi-definite matrices. We simulate the system Eqs. (1)-(3) over $t_0 = 0 \leq t \leq t_f = 1$ with following parameters: $\xi(x, t) = 0, j = k = 1, \psi_k(x) = \sqrt{2} \sin(k\pi x)$.

7. Results and Discussion

Computer codes produced in MATLAB is used for the solution of the system. The boundary conditions for integrating differential equations are $P_\Lambda(0) = I$ and $P_w(0) = 0$. The initial state $w(0) = 0$ and initial costate $\Lambda(0) = \Lambda^i(0)$ are used. The initial guess applied to start the iterative procedure is $\Lambda^0(0) = 0$ and

$$|\Lambda^1(1)| + |\Lambda^2(1)| \leq 10^{-5}$$

is the norm used as a stopping criterion. The values of the performance index as a function of the number of iterations are shown in Figure 1. The performance index decreases significantly after 43 iterations, but only slightly improves after the remaining 57 iterations.

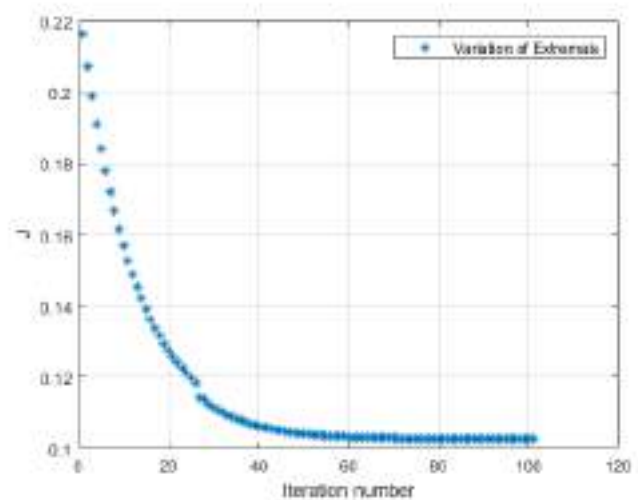


Figure 1. Performance index reduction with the variation of extremals method.

Temperature profiles in time $z(x_0, t)$ are curves in the zt -plane. Figure 2 shows a comparison of temperature profiles over time with a fixed value of $x_0 = 0.5$ for uncontrolled and controlled systems using the variation of extremals process.

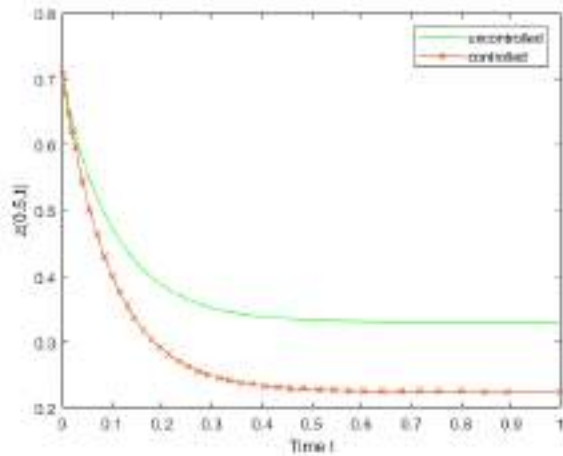


Figure 2. Comparison of the temperature profiles in time at $x_0 = 0.5$ for uncontrolled and controlled case.

8. Conclusions and Recommendations

It is investigated how to control a parabolic PDE with a diffusivity control optimally. The controllability and uniqueness of the system's solution is discussed. A lumped parameter system is created using reduced order modeling. Pontryagin's maximum principle is used to obtain the optimal control function that leads to a nonlinear two-point boundary value problem. An iterative numerical technique, variation of extremals, for determining optimal trajectories and optimal control of the system is discussed. The programming is achieved using computer codes produced in MATLAB. The usefulness and applicability of the proposed strategy are demonstrated through numerical simulation studies. The optimal diffusivity control for different models can be designed by adopting the presented control algorithms in this study. In addition, the system can be controlled by adding boundary control and interior control as well as diffusivity control.

References

- Guliyev, H. F., & Jabbarova, K. S. (2010). The exact controllability problem for the second order linear hyperbolic equation. *Differential Equations and Control Processes*, 3, 10-19.
- Khapalov, A. Y. (2003). Controllability of the semilinear parabolic equation governed by a multiplicative control in the reaction term: A qualitative approach. *SIAM journal on control and optimization*, 41(6), 1886-1900.
- Kirk, D. E. (2004). *Optimal control theory: an introduction*. New York: Dover Publications.
- Korpeoglu, S. G., & Kucuk, I. (2018, August). Optimal control of a bilinear system with a quadratic cost functional. In *Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)* (pp. 1-6).
- Lin, P., Leid, P., & Gao, H. (2007). Bilinear control system with the reaction-diffusion term satisfying Newton's law. *ZAMM-*

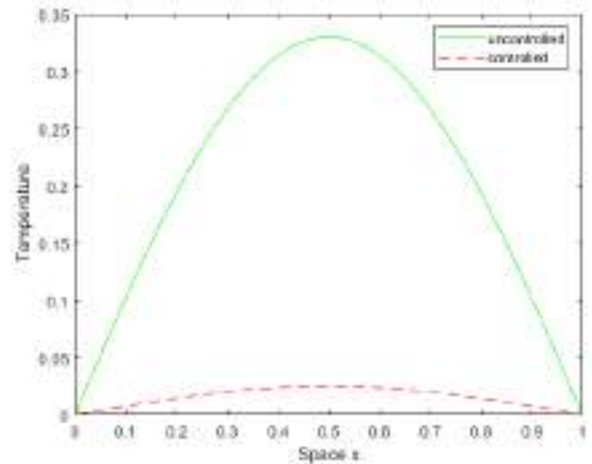


Figure 3. Comparison of the spatial temperature profiles for uncontrolled and controlled case.

Figure 3 depicts the spatial temperature profile of the uncontrolled and controlled systems using the the variation of extremals method at the final time $t_f = 1$. Figure 3 shows that at terminal time t_f , the middle of the rod, which is the position of the highest temperature, cools more slowly for the uncontrolled model than for the controlled model.

Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 87(1), 14-23.

- Lin, P., Gao, H., & Liu, X. (2007). Some results on controllability of a nonlinear degenerate parabolic system by bilinear control. *Journal of mathematical analysis and applications*, 326(2), 1149-1160.
- Pedersen, M. (1999). *Functional analysis in applied mathematics and engineering*. USA: CRC press.
- Pontryagin, L. S. (1959). Optimal regulation processes. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk*, 14(1), 3-20.
- Xu, C., Ou, Y., & Schuster, E. (2007, December). POD-based reduced order optimal control of parabolic PDE systems via diffusivity-interior-boundary actuation. In *46th IEEE Conference on Decision and Control* (pp. 3519-3524).
- Xu, C., Ou, Y., & Schuster, E. (2011). Sequential linear quadratic control of bilinear parabolic PDEs based on POD model reduction. *Automatica*, 47(2), 418-426.



Farklı Dolgu Malzemeleri ile Sabitlenen Zıvanaların Yığıma Taş Bloklarının Kayma Dayanımına Etkisi

Şükran Tanrıverdi^{1*}, Tülin Çelik²

^{1*} Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9751-5788), sukran_tugrueleci@hotmail.com

² Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8638-9579), tulinsandikci@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 9 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.912304)

ATIF/REFERENCE: Tanrıverdi, Ş. & Çelik, T. (2021). Farklı Dolgu Malzemeleri ile Sabitlenen Zıvanaların Yığıma Taş Bloklarının Kayma Dayanımına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 347-354.

Özet

Zıvanalar, kesme taşları birbirine bağlamak için kullanılan çelikten yapılmış bağlantı elemanlarıdır. Tarihi yapılardaki zıvana uygulaması, kesme taşların üst ve alt kısımlarının yuvarlak şekilde oyulması ve bunların içine kurşun akıtılıp zıvana çeliğinin yerleştirilmesiyle yapılmıştır. Bu uygulama ile taşıyıcı duvarların davranışı sünek hale getirilerek yapının bütünlüğü korunmuştur. Geleneksel olarak kesme taşlardaki zıvana uygulamalarında dolgu malzemesi olarak kurşun kullanılmıştır. Bu çalışmada, zıvanalarda kullanılan kurşun dolgu malzemesine alternatif olarak farklı dolgu malzemeleri kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında dolgu malzemesi olarak kurşun, epoksi ve çimento şerbeti kullanılmıştır. Üç farklı malzeme ile sabitlenen zıvanaların taş bloklar üzerindeki kayma dayanımları incelenmiştir. Çalışma sonucunda çimento şerbeti ile yapılan deney numunelerinde sıyrılmalar gözlemlenmiş ve yük taşıma kapasiteleri diğer deney numunelerine kıyasla daha düşük çıkmıştır. Epoksi kullanılarak yapılan deney numunelerinde ise yükte ani düşmeler meydana gelmiş ve buna bağlı olarak taş bloklar üzerinde büyük hasarlar meydana gelmiştir. Tarihi yapıların yapımında geleneksel olarak kullanılan kurşun malzemesinin diğer malzemelere kıyasla daha sünek bir davranış sergilediği görülmüştür. Bu çalışma ile kurşunun tarihi yapılarda kullanılmasındaki önemi daha net olarak ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kurşun, Epoksi, Çimento şerbeti, Zıvana, Kayma dayanımı, Tarihi yapılar.

The Effect of Dowels Fixed with Different Filling Materials on the Shear Strength of Masonry Stone Blocks

Abstract

Dowels are steel made elements connecting the cut stones to each other. Dowel applications in the historical structures are performed by carving circularly the cut stones, then injecting lead mine into these carved holes and finally placing the dowels properly. As a result of this application, the behavior of the carrier walls are turned into more ductile. Traditionally lead mine has been used as filling material in dowel applications. In this study, different filling materials were used as an alternative to the lead filling material used in dowels and the results were compared. In the scope of the study, lead, epoxy and cement grout were used as filling materials. The shear strength of the dowels fixed with three different materials on the stone blocks was investigated. As a result of the study, slipping was observed in the test samples made with cement grout and their load carrying capacities were found to be quite low compared to other test samples. On the other hand, in the experimental samples made using epoxy, sudden drops in the load occurred and major damages occurred on the stone blocks as a result. The lead material traditionally used in the construction of historical structures displayed a more ductile behavior compared to other materials. With this study, the importance of lead in the use of historical structures has been revealed more clearly.

Keywords: Lead, Epoxy, Cement grout, Tenon, Shear strength, Historical structures.

* Sorumlu Yazar: sukran_tugrueleci@hotmail.com

1. Giriş

Tarihi yapılar, geçmişten günümüze kadar gelen ve toplumun ortak değerlerini yansıttıkları için gelecek nesillere aktarılması gereken mirasımızdır. Tarihi yapılar geçmiş ile günümüz arasında köprü kurarak, toplumun yaşanmış kültürünü ve değerlerini gelecek nesillere anlatmaktadır. Toplumlar, üzerinde barındırdıkları bu yapıların varlıkları ile zenginleşmektedir. Tarihi yapılar bizden önce yaşayan insanlar tarafından bizlere bırakılan kültürel bir miras olup bunların korunması ve yaşatılması bizlerin en önemli görevlerinden biridir. Bu yapılarda yeterli mühendislik bilgisi olmadan, standartlara uygun olmayan onarım ve güçlendirme uygulamalarının yapılmaması gerekmektedir. Bu yapıların onarım ve güçlendirilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, yapının özgünlüğünü bozmadan aslına uygun malzeme kullanılarak ve yeterli mühendislik bilgisi ile yapıda onarım ve güçlendirme uygulamalarının yapılmasıdır.

Tarihi yapılarda hasarlar genellikle yapısal, zeminden kaynaklanan, hatalı malzeme kullanımı ve kötü işçilik sonucu meydana gelmektedir. Bu tür yapılar üzerine gelen düşey kuvvetleri taşımakta olup deprem gibi yatay kuvvetleri taşıyamadığı için hasar almakta ya da yıkılmaktadır. Tarihi yapılar tuğla ve harcin birleşimiyle meydana gelen gevrek yapılardır. Böylece deprem kuvvetlerine karşı enerji tüketme kapasiteleri de oldukça düşüktür. Bu tür yapıların sünekliğini artırmak için metal bağlantı elemanları olan zıvana ve kenetler kullanılmaktadır.

Metal bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanaların yığma yapı sistemi üzerine olumlu etkileri (Ural vd., 2015) ile ilgili günümüze kadar yapılmış bazı bilimsel yayınlar ve araştırmalar olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ele alınan zıvanaların farklı dolgu malzemeleri kullanılarak sabitlenmesinin yığma taş bloklar üzerine etkisi ile ilgili yapılmış bilimsel çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma günümüzde yapılan tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi çalışmalarında, zıvanaların sabitlenmesinde hangi malzemelerin kullanılması gerektiği konusunda iyi bir referans olacağı düşünülmektedir. Çelik ve Tanrıverdi (2021), çalışmada farklı çaptaki zıvanaların kurşun ile sabitlenmesinin taş bloklar üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla 15 adet numune üzerinde kayma dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda onarım ve güçlendirmede kullanılan zıvana demirlerinin kurşun ile sabitlenmesinin önemi ve zıvana demirlerinin çaplarının nasıl olması gerektiği konusunda önerilerde bulunulmuştur. Nikolic vd. (2019), yaptıkları çalışmada, kuru taş yığma yapıları metal bağlantı elemanı olan dübel ve kenetleri ile güçlendirilmiştir. Kuru taş yığma yapıların davranışlarının sayısal modeli sonlu ayırık eleman yöntemi ile modellenerek incelenmiştir. Metal bağlantı elemanlarının malzeme ve geometrik modeli geliştirilmiş ve sonlu ayırık eleman modeli ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, dinamik davranışta kuru taş yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanları, tarihi anıtların davranışlarının simülasyonunda uygulanan modelin performansını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Tarihi binaların depreme dayanıklılığını arttırmada metal bağlantı elemanları faydalı olmuştur. Soti ve Barbosa (2019), çalışmalarında yığma duvarın yüzeyine yakın olarak monte edilen çelik dübeller ile güçlendirilmiş numuneler deneysel ve sayısal olarak modellemiştir. Donatısız yığma duvar ve

güçlendirilmiş yığma duvarlara ait modellerin deneysel ve sayısal sonuçları birbirleri ile kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlarına göre çelik dübellerin, duvarların deformasyon kapasitesini iyileştirmede etkili olduğu görülmüştür. Simonovic ve Simonovic (2018), yaptıkları çalışmada yığma duvarları, çelik ızgara ve FRC dübelli betonarme paneller ile onarım ve güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu iki farklı güçlendirme uygulamasının analizleri yapmış ve sonuçları birbirleri ile kıyaslayarak avantajlarını ve dezavantajlarını ifade etmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre güçlendirme için uygulanan sistemlerinin kalitesi üzerindeki en önemli etki duvarın yeterli bir şekilde güçlendirilmesi gereken elemanların rijitlik seçimi ile gerçekleşmiştir. Ural vd. (2015) çalışmalarında farklı kenet ve zıvana sistemlerine sahip yığma duvar numuneleri üzerinde deneysel gerçekleştirmiş ve bu deneysel sonuçlarına göre sistemlerin yığma duvarların kesme kapasitesine etkisini inceleyerek bir takım önerilerde bulunmuşlardır. Demir (2012), çalışmada çok tabakalı tarihi duvarların kayma davranışına etkisini incelemiştir. Değişken olarak, eksenel gerilme düzeyi, kenet ve zıvana kullanımı ve dış tabakalar arasında iç moloz dolguyu kullanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda kenetlerin kullanılması çatlak dağılımını etkilemekte ve kullanılan küfeki taşın çekme dayanımının nispeten düşük olması nedeniyle kenetlerin etkinliklerinin bir seviyede sınırlandığı sonucuna varılmıştır. Özyurt vd. (2018), yaptıkları çalışmada düşey delikli yığma tuğlalar ile üretilmiş duvarların çelik levhalar ile güçlendirilmesini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında biri referans dört tanesinde çelik levhalar ile güçlendirilmiş toplamda beş adet deneysel elemanı üzerinde test yapılmıştır. Sonuç olarak çelik levhalar ile güçlendirilmiş deneysel elemanlarının yük taşıma kapasiteleri, süneklikleri, rijitlikleri ve dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında farklı dolgu malzemesi olarak kurşun, epoksi ve çimento şerbeti kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada zıvanaların dolgu malzemeleri ile sabitlenmesinin taş bloklar üzerindeki kayma dayanımlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Yığma Birimler ve Zıvanaların Özellikleri

Çalışmada yığma birim olarak kullanılan volkanik kökenli tuf taşı, Aksaray İli'nde bulunan Sevinçli Kasabası'ndan çıkarılmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan taş bloğun boyutları 200x300x600 mm³'dür. Tablo1'de çalışmada kullanılan yığma taş blokların fiziksel sonuçları verilmektedir.

Tablo 1. Deneyde kullanılan yığma taş blokların fiziksel deney sonuçları (Uslu, 2018)

Test Türü / Birimi	Sonuç
Mohs Sertlik	3
Dijital Schmidt Çekici Sertliği	35 (33-37)
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,97
Doygun Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,52
Porozite (%)	22,78
Ağırlıkça Su Emme (%)	15,00
Nemlilik (%)	1,15
Renk	Gri
Doluluk Oranı (%)	76
Ultrasonik Hız (μs)	60,0
Ultrasonik Hız (km/s)	5,40
pH (100 mL suda)	8,87
Suda Çözünen Toplam Tuz (μS -25 mL suda)	590
Suda Çözünen Toplam Tuz (%-25 mL suda)	0,58
Darbe Direnci (kgcm/cm ³)	23

Tarihi yapılarda yığma birim olarak taş, tuğla, kerpiç, ahşap gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin basınç dayanımları yüksek, çekme dayanımları ise oldukça düşüktür. Deneyde kullanılan volkanik kökenli tüf taşı üzerinde Kâgir birimlerin basınç dayanımının tayini TS EN 772-1+A1 (2015) standardı dikkate alınarak basınç dayanım testleri ve Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanım tayini TS EN 772-6 (2004) standartına göre çekme dayanım testleri yapılmıştır. Basınç dayanım testleri standartta belirtildiği şekilde 50x50x50 mm³ boyutlarında tüf taşı kesilerek, 6 adet taş üzerinde test edilmiştir. Deneyde kullanılan yığma taş blokların basınç dayanım sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Taşın basınç dayanımları kırılma yükünün uygulanan alana bölünmesiyle elde edilmiştir. Yapılan basınç dayanım testi sonucunda tüf taşının ortalama basınç dayanımı 4,13 MPa ve standart sapması 0,66 MPa elde edilmiştir. Tüf taşının eğilmede çekme dayanımını elde etmek amacıyla yapılan testte taşlar 40x40x160 mm³ ebatlarında kesilip oda sıcaklığında kurutulduktan sonra 6 adet taş teste tabi tutulmuştur. Yapılan test sonucunda taşın ortalama eğilme çekme dayanımı Tablo 3’de belirtildiği gibi 0,71 MPa olarak hesaplanmıştır. Yığma taş blokların eğilmede çekme dayanımları Denklem 1 ile hesaplanmıştır. Yapılan testlerle tarihi yapılarda kullanılan yığma taşların, basınç dayanımlarının çekme dayanımlarına göre daha fazla olduğu kanıtlanmıştır.

$$R_{tf} = \frac{PL}{bd^2} \quad (1)$$

Tablo 2. Deneyde kullanılan yığma taş birimlerin basınç dayanımı sonuçları

Numune No	Enkesit boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
A1	50	50	12650	5,06
A2	50	50	10850	4,34
A3	50	50	8570	3,43
A4	50	50	9970	3,98
A5	50	50	11450	4,58
A6	50	50	8450	3,38
Ortalama				4,13
Standart Sapma				0,66

Tablo 3. Deneyde kullanılan yığma taş birimlerin eğilmede çekme dayanım sonuçları

Numune No	Kırılma Yüğü (N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
A1	490	0,77
A2	490	0,62
A3	560	0,88
A4	500	0,68
A5	450	0,59
A6	570	0,72
Ortalama		0,71

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde bağlantı elemanları olarak kenetler ve zıvanalar kullanılmaktadır. Bu malzemeler ile yapının dayanımı, taşıma kapasiteleri ve sünekliği artmaktadır. Çalışmada kullanılan zıvanaları temsilen 10 mm çapına sahip tij demirleri kullanılmıştır. Zıvanaların çekme dayanımlarını belirlemek amacıyla, TS EN ISO 6892-1 (2020) standartında belirtildiği şekilde çekme testleri yapılmıştır. Deney sonucunda zıvanaların çekme dayanımları yaklaşık olarak 290 MPa olarak hesaplanmıştır. Çekme dayanımı Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$R_m = F_m \quad (2)$$

R_m: Zıvanaların çekme dayanımı, F_m ise deney sırasında akmanın gerçekleşmesi sonucunda zıvananın dayandığı en büyük yüküdür.

2.2. Deneyde Kullanılan Epoksinin Özellikleri

Yapılan deneysel çalışmada zıvanaların taş bloklar üzerine sabitlenmesinde MasterBrace ADH 1406 adlı epoksi tamir harcı kullanılmıştır. MasterBrace ADH 1406, epoksi esaslı, iki bileşenli, tamir, ankraj ve montaj harcıdır. Kullanılan epoksinin teknik özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. MasterBrace ADH 1406'nun teknik özellikleri (URL-1)

Malzeme Yapısı	Epoksi Reçine
MasterBrace® ADH 1406 Bileşen A	Epoksi Sertleştirici
MasterBrace® ADH 1406 Bileşen B	Gri
Renk	Gri
Karışım Yoğunluğu	1,70+0,05 kg/litre
Basınç Dayanımı (TS EN 196)	
1 gün	30 N/mm ²
7 gün	60 N/mm ²
Eğilme Dayanımı (TS EN 196)	
1 gün	17 N/mm ²
7gün	25 N/mm ²
Yapışma Dayanımı (28 gün)	
Betona	>3,0 N/mm ²
Çeliğe	>3,5 N/mm ²
Uygulanacak Zeminin Sıcaklığı	+5 °C +30 °C
Kullanma Süresi (+20 °C)	40 dak.
Yeniden Kaplanabilme Süresi (+20°C)	18-24 saat
Üzerinde Yürünebilme Süresi (+20 °C)	24 saat
Servis Sıcaklığı	-15 °C +90 °C
Tam Kurlenme Süresi (+20 °C)	7 gün

2.3. Deneyde Kullanılan Kurşunun Özellikleri

Tablo 5'de deneyde kullanılan kurşun dolgu malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 5. Deneyde kullanılan kurşunun fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-2)

Fiziksel Özellikleri	
Kompozisyon %	Pb:99,9
Özgül Ağırlığı (Kg/Dm ³)	11,35
Ergime Sıcaklığı (°C)	326
Isı İletkenliği 25°C Tavlanmış (Kcal/Sa/Cm/°C)	29,2
Genleşme Katsayısı (20-200 °C)(°C) X 10-6	29,3
Isınma Isısı (20 °C),(Kcal/Kg/°C)	0,031
Mekanik Özellikleri	
Gerilmede Elastik Modül (Kg/Cm ²)X10 ³	140
Çekme Dayanıklılığı 24°C (Kg/Cm ²)	170
Akma Dayanıklılığı 24°C (Kg/Cm ²)	115
Uzama (5.Cm.De)%	57
Dayanıklılık Sınırı (10? Hz) (Kg/Cm ²)	50
Kayma Dayanıklılığı (Yilda %0,1) (Kg/Cm ²)	21

3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan zıvanaların farklı dolgu malzemeleri ile yığma taş bloklara sabitlenerek kayma dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Deney çalışmasında değişken olarak ele alınan dolgu malzemesi olarak kurşun, epoksi ve çimento şerbeti kullanılmıştır. Her bir numuneden 5'er adet toplamda 15 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmaya başlamadan önce Şekil 1 (a)'da gösterildiği gibi 200x300x600 mm³ biyutlarındaki yığma taş üzerine kullanılan zıvana çapından (10 mm) büyük olacak şekilde 12 mm çapında zıvana

yuvaları açılmıştır. Şekil 1 (b)'de deneyde kullanılan zıvanayı temsil eden 10 mm çapındaki sonsuz dişli gösterilmiştir.

Genellikle tarihi yapılarda kullanılan zıvanaların uçları şişkin ortası incedir. Bunu temsilen sonsuz dişlilerin uçlarına somun geçirilmiştir. Şekil 1(c)'de yığma taş bloklar üzerine açılan zıvana yuvaları gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1. a) Yığma taş blok üzerine zıvana yuvalarının açılması, b) Deneyde kullanılan zıvana, c) Deneyde kullanılan yığma taş blok

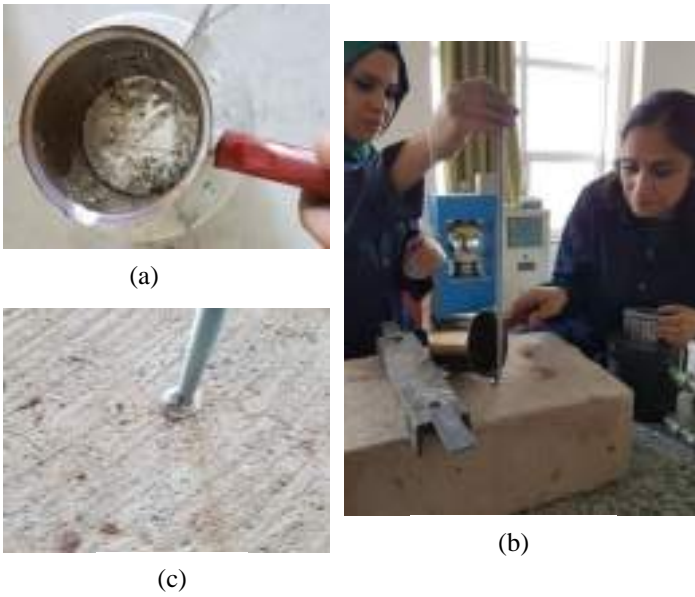
Hazırlanan numuneler, Şekil 2'de verilen deney düzeneğine yerleştirilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışılacak taş bloklar üzerine, 50 ton kapasiteye sahip yük hücresi ve hidrolik pompa yerleştirilmiştir. Deneyde yükleme işlemi 50 ton kapasiteye sahip hidrolik pompa ile yapılmıştır. Yük hücresi, uygulanan yüke göre çekmeye (kayma) maruz kalmakta ve çıkış ucundan belirli çekme kuvveti vererek çalışmaktadır. Bu çekme (kayma) kuvvetleri yük hücresinden alınıp, kurulan mekanizma ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Deney düzeneğindeki yükleme sistemi kuvvet kontrollü yapıp, yükleme oranı ortalama olarak 0,3 kN/sn olarak uygulanmıştır.



Şekil 2. Deney düzeneği

3.1. Kurşun İle Yapılan Deney Numunelerinin Hazırlanması

Tarihi yapılarda genellikle düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanaların hava şartlarından etkilenip korozyona uğramasını, bu sebeple taşa zarar vermesini engellemek amacıyla zıvana oyukları kurşun ile doldurulmuştur. Bu çalışmada da 12 mm çapında açılan zıvana yuvalarına 10 mm'lik zıvana görevini yapacak sonsuz dişliler Şekil 3.'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Bu zıvanalar eritilen kurşun ile sabitlenerek deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 3). Deney sonrası taş bloklar üzerinde oluşan hasarlar Şekil 4'de verilmiştir. Geleneksel olarak kullanılan kurşun malzemesinin davranışı bu çalışma ile daha net bir şekilde ortaya konulmuştur.



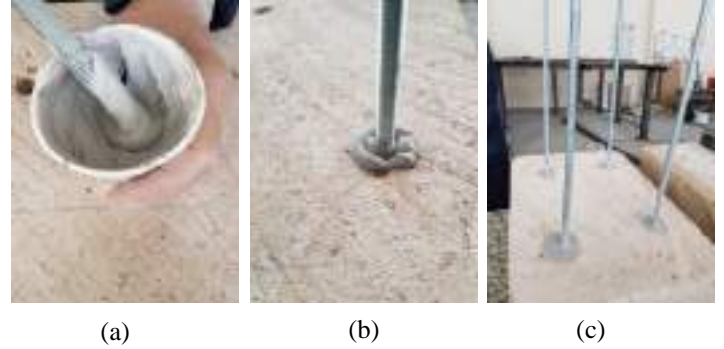
Şekil 3. a) Deneyde kullanılan kurşunun eritilmesi, b) Kurşun ile zıvananın sabitlenmesi, c) Kurşunlu deney numunelerinin deney öncesi hali



Şekil 4. Kurşunlu deney numunelerinin deney öncesi sonrası hali

3.2. Epoksi İle Yapılan Deney Numunelerinin Hazırlanması

Son zamanlarda tarihi yapıların güçlendirilmesinde epoksi tamir harcı malzemesi çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çalışmada zıvanaların yığma taş bloklar üzerine sabitlenmesinde MasterBrace ADH 1406 adlı epoksi tamir harcı uygulanmıştır. MasterBrace ADH 1406 iki bileşenli, epoksi esaslı, tamir, ankraj ve montaj harcıdır. Deneyde de zıvananın, tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan epoksi ile sabitlenmesiyle yığma taş blokların kayma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Şekil 5 (a)'da iki bileşenli epoksi tamir harcının hazırlanması gösterilmiştir. Zıvanalar Şekil 5 (b)'de gösterildiği gibi yığma taş blokların üzerine epoksi ile sabitlenip deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 5(c)). Deney sonucunda taş bloklar üzerinde meydana gelen deformasyonlar Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. a) Deneyde kullanılan epoksinin hazırlanması, b) Epoksi ile zıvananın sabitlenmesi, c) Epoksili deney numunelerinin deney öncesi hali



Şekil 6. Epoksili deney numunelerinin deney sonrası hali

3.3. Çimento Şerbeti İle Yapılan Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneyisel çalışmada zıvanaların taş blok üzerine sabitlenmesinde değişken olarak ele alınan malzemelerden bir diğeri de çimento şerbetidir. Tarihi yapılarda genellikle kılcal seviyede oluşan çatlaklar, enjeksiyon yardımı ile çimento şerbeti oluşturularak onarılmaktadır. Deneyisel çalışmada da çimento ve su karışımından oluşan çimento şerbeti yapılmıştır. Açılan zıvana yuvalarına yerleştirilen zıvanalar taş blok üzerine çimento şerbeti ile sabitlenerek deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 7). Çimento şerbeti ile yapılan deney numunelerinin deney sonrası hali (taş bloklar üzerinde meydana gelen hasarlar) Şekil 8'de gösterilmiştir.

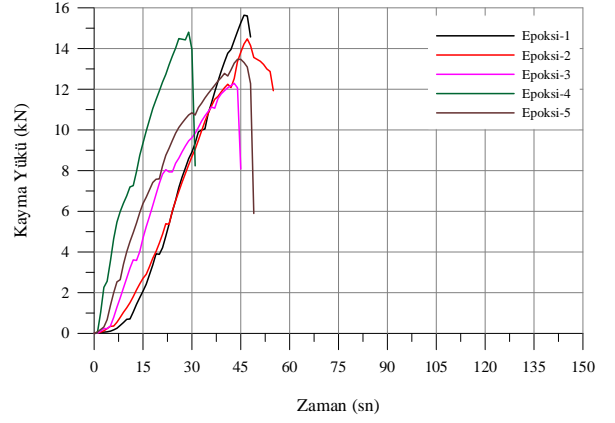
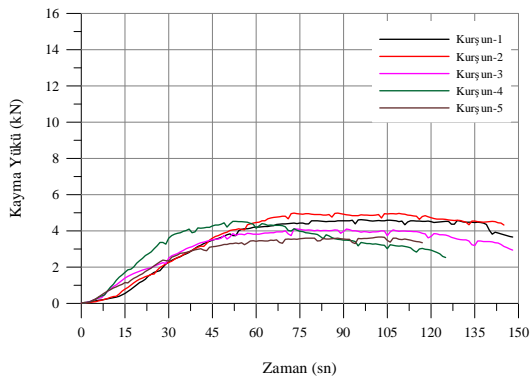


Şekil 7. Çimento şerbeti ile yapılan deney numunelerinin deney öncesi hali



Şekil 8. Çimento şerbeti ile yapılan deney numunelerinin deney sonrası hali

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma



Şekil 9. Deney numunelerinin kayma yük-zaman grafikleri

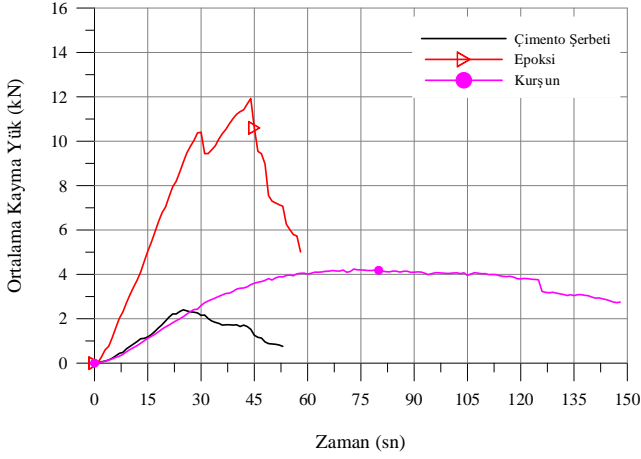
Şekil 9'da deney numunelerinin kayma yük-zaman grafiği verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda epoksi ile taş bloğa sabitlenen zıvana ile yapılan deney numuneleri maksimum kayma yükünü taşıırken, çimento şerbeti ile sabitlenen deney numuneleri ortalama 1,93 kN ile en az yükü taşımışlardır. Epoksi ile yapılan deney numuneleri sonucuna bakıldığında taşta meydana gelen hasarlar kurşun ve çimento şerbeti ile yapılan deney numunelerine göre çok fazladır. Deney sonucunda epoksi ile yapılan deney numuneleri ortalama 11,92 kN yük taşıyarak, taş bloklarda daha geniş çatlaklar oluşmuştur. Epoksi ile yapılan 5 adet deney numuneleri birbirlerine yakın davranış sergileyip, taşıdıkları maksimum kayma yükleri de birbirlerine yakın çıkmıştır. Epoksi deney numunelerinin taşıdıkları maksimum kayma yükleri 15,64 kN, 14,47 kN, 12,29 kN, 14,81 kN ve 13,47 kN'dur.

Yapılan deney sonuçlarına göre, çimento şerbeti ile yapılan deney numunelerinin en az kayma yüküne sahip olduğu görülmüş olup, çimento şerbeti ile taş bloklar üzerine açılan zıvana yuvalarına sabitlenen zıvalarda deney sırasında sıyrılmalar meydana gelmiştir. çimento şerbeti ile yapılan 5 adet deney numunesi de epoksi malzemesi kullanılarak yapılan deney numuneleri gibi birbirlerine yakın davranış sergilemişlerdir. Deney sonucunda elde edilen kayma yükleri Deney 1'den Deney 5'e kadar sırası ile 2,40 kN, 1,60 kN, 1,54 kN, 2,76 kN ve 1,98 kN değerindedir.

Geçmişten günümüze kadar tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan kurşun ile yapılan deney numuneleri, diğer deney numuneleri gibi birbirlerine oldukça yakın davranış sergilemişlerdir. Epoksi ile yapılan deney numunelerinde taşlarda gözlemlenen büyük hasarlar kurşun ile yapılan deney numunelerinde görülmemiştir.

5 adet kurşun kullanılarak yığıma taşlara sabitlenen zıvanalar ile yapılan deney numunelerinin deney sonucunda taşıdıkları kayma yükleri sırası ile 4,62 kN, 4,98 kN, 4,12 kN, 4,53 kN ve 3,66 kN'dur.

Deney sonucunda deney numunelerinden elde edilen ortalama kayma yük-zaman grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi en az kayma yükünü taşıyan deney numunesi, çimento şerbeti ile yapılmış deney numunesi olmuştur. Kurşun ile yapılan deney numunesi diğer deney numunelerine göre daha sünek bir davranış sergilerken, maksimum kayma yükünü taşıyan epoksi ile yapılmış deney numunesi gevrek bir davranış sergilemiştir.



Şekil 10. Kurşun, epoksi ve çimento şerbeti ile yapılan deney numunelerinden elde edilen ortalama kayma yük-zaman grafikleri.

4. Sonuç

Bu çalışmada taş bloklarda düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanaların farklı dolgu malzemeleri ile taş bloklara sabitlenmesiyle oluşturulan numunelerin kayma dayanımları incelenmiştir. Zıvanayı temsilen 10 mm çapına sahip sonsuz dişliler ve dolgu malzemeleri olarak da kurşun, epoksi ve çimento şerbeti kullanılmıştır. Her bir numuneden 5'er adet olmak üzere toplamda 15 adet deney numunesi hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar maddeler halinde sunulmuştur.

- Zıvanaların sabitlenmesi için kullanılan epoksi malzemesi ile yapılan deney sonucunda, taş bloklar üzerinde büyük hasarlar gözlemlenirken, kurşun ve çimento şerbeti ile sabitlenen zıvanalarla yapılan deney sonucunda taş bloklar üzerinde çok fazla hasar gözlenmemiştir. Yapılan bütün deneylerde zıvanalar, akma noktasına gelmeden taş bloklar üzerinden ayrıldığı için zıvana yüzeyinde deformasyonlar görülmemiştir.
- Dolgu malzemesi çimento şerbeti kullanılarak yapılan deney numunelerinin ortalama maksimum kayma yükü 1,93 kN'dur. Çimento şerbeti ile yapılan deney numunelerinde deney sırasında zıvanalarda sıyrılmalar meydana gelmiştir. Bu sebeple tarihi yapıların onarım ve güçlendirmesinde kullanılan zıvanaların, çimento

şerbeti ile taş bloklara sabitlenmesi taşıma kapasitelerinde önemli bir artışa sebep olmamaktadır. Aynı zamanda bu numuneler zıvana ile bir bütünlük sağlamayarak, zıvananın hava koşullarından etkilenip korozyona uğramasına neden olmaktadır.

- Taş bloklar üzerine kurşun malzemesi kullanılarak sabitlenen zıvanalı deney numunelerinin, taşıdıkları ortalama maksimum kayma yükü 4,24 kN'dur. Geçmişten günümüze kadar geleneksel dolgu malzemesi olarak kullanılan kurşunun tarihi yapılarıdaki kullanımının ne kadar doğru olduğu bu çalışma ile desteklenmektedir. Kurşun ile yapılan deney numuneleri diğer numunelere göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Yığıma yapılar da kullanılan taşlar gevrek bir malzeme olduğu için, deprem gibi yapıya gelen yatay yüklere karşı yapıların sünekliğini arttıracak malzemelerin kullanılması oldukça önemlidir.
- Son zamanlarda tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan, epoksi malzemesi ile sabitlenen zıvanaların, taş bloklar üzerindeki kayma dayanımı bu çalışma ile incelenmiştir. Deney numuneleri ortalama maksimum 11,92 kN'luk kayma yükü taşımıştır. Beklendiği gibi deney numunelerinin taşıdıkları kayma yükleri kurşun ve çimento şerbetine göre oldukça fazladır. Fakat epoksi ile yapılan deney numunelerinde taşların daha fazla hasar aldığı gözlenmiştir. Epoksi ve kurşun malzemesi zıvana ile iyi bir aderans sağlamış olmasına rağmen, epoksi ile yapılan deney numunelerinde, kurşunda olduğu gibi sünek bir davranış görülmeyip, gevrek bir davranış sergileyerek yükte ani düşmeler meydana gelmiştir.
- Yapılan bu çalışma ile tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan zıvanaların taş bloklar üzerine sabitlenmesinde dolgu malzemesi olarak kurşunun kullanılmasının, yapı üzerinde dayanım ve süneklik açısından daha iyi bir davranış sergilediği belirlenmiştir.
- Bu çalışmanın, yapılacak olan tarihi yapıların onarım ve güçlendirme gibi restorasyon çalışmalarında iyi bir referans olacağı ve bundan sonra yapılacak bilimsel çalışmalara katkı sağlayacağı beklenmektedir. Bu çalışma ile farklı dolgu malzemeleri kullanılarak zıvanaların taş bloklar üzerindeki kayma dayanımları incelenmiştir. Fakat kenetlerin farklı dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla oluşturulan numunelerin davranışlarının incelenmesi bir başka konu olarak önerilmektedir.

Kaynakça

- Çelik, T., ve Tanrıverdi, Ş. (2021). Farklı Çaplardaki Zıvanaların Kurşun İle Sabitlenmesinin Kayma Dayanımına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 24-29.
- Demir, C. (2012). *Seismic behaviour of historical stone masonry multi-leaf walls* (Doctoral dissertation, PhD Dissertation. Turkey: Istanbul Technical University (ITU)).
- Nikolić, Ž., Smoljanović, H., & Živaljić, N. (2019). Analysis of metal connector's effect on seismic resistance of dry stone masonry structures. *Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*.
- Özyurt, M. Z., Mohammadı, M., & Cumhuri, A. (2020). Genişletilmiş Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Blok Tuğla Duvarlarda Bulon Aralığının Dayanım ve Davranış Üzerindeki Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 365-373.
- Simonović, V., & Simonović, G. (2018). Numerical Investigation of Possible Strengthening of Masonry Walls. In *International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies* (pp. 175-181). Springer, Cham.
- Soti, R., & Barbosa, A. R. (2019). Experimental and applied element modeling of masonry walls retrofitted with near surface mounted (NSM) reinforcing steel bars. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(7), 4081-4114.
- TS EN 772-1+A1. (2015). Kagir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 772-6. (2004). Kagir birimler-deney metotları-bölüm 6: Beton kagir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN ISO 6892-1. (2020). Metalik malzemeler-çekme deneyi-bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Ural, A., Kara, M. E., ve Uslu, S. (2015). Kenet ve Zıvanaların Yığma Duvarların Kesme (Kayma) Davranışına Etkisi. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum, 537-548, 2015.
- URL-1: [https://assets.master-builders-solutions.com/tr-tr/masterbrace%20adh%201406%20\(eski%20ad%C4%B1%20concrecive%201406\).pdf](https://assets.master-builders-solutions.com/tr-tr/masterbrace%20adh%201406%20(eski%20ad%C4%B1%20concrecive%201406).pdf)
- URL-2: <https://www.pinarmetal.com/pic/pdf/kursun.pdf>



Endüstriyel Tip Makinalarda Verimliliği Artırmak İçin Optimizasyon

Fulya Aslan^{1*}, Yaşar Nuri Sevgen², Yavuz Ateş³, Osman Yıldırım⁴

^{1*} Arel Üniversitesi, Müh. - Mim. Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2954-1962), fulya-aslan@hotmail.com

² Gelişim Üniversitesi, Müh. - Mim. Fakültesi, Elektrik - Elektronik Müh. Böl., İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7344-513X), ynsevgen@gelisim.edu.tr

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4168-0861), yates@yildiz.edu.tr

⁴ Arel Üniversitesi, Müh. - Mim. Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8900-3050), osmanyildirim@arel.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.913829)

ATIF/REFERENCE: Aslan, F., Sevgen, Y. N., Ateş, Y. & Yıldırım, O. (2021). Endüstriyel Tip Makinalarda Verimliliği Artırmak İçin Optimizasyon. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 355-362.

Öz

Endüstri, sürekli olarak gelişen ve büyüyen bir sektördür. Endüstriyel makinaların tüm bu gelişmelere uyum sağlayarak kaliteli ürün üretebilme, güvenilir, hızlı, yüksek hassasiyetli ve maksimum verimde çalışması endüstri sektörünün temelini oluşturmaktadır. Hassasiyet, hız ve verimin ön plana çıktığı sistemlerde otomasyon devreye girmektedir.

Büyük ölçekli saha sistemlerinde bilginin hızlı bir şekilde aktarımı makinanın mekanik bileşenlerine bağlı olmakla beraber kullanılan haberleşme protokolünün hızına da bağlıdır. Aktarılan verinin büyüklüğü arttıkça, hız ters oranda hareket ederek düşmeye başlar ve makine verimliliği olumsuz yönde etkilenir. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak amacı ile kompleks makinalar için geliştirilen hızlı ve güvenilir haberleşme protokolleri günümüzde yerini almıştır.

Bu derleme makalesinde endüstriyel haberleşme protokollerinden endüstri sektöründe aktif kullanılan Profibus, Modbus ve Canbus protokolleri incelenmiştir. Protokoller karşılaştırılarak endüstriyel makine otomasyonunda ihtiyaca cevap verebilecek protokol öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Haberleşme protokolleri, Endüstriyel Otomasyon, Modbus, Profibus, Canbus.

Optimization To Increase Productivity In Industrial Machines

Abstract

The industry is a constantly evolving and growing sector. The ability of industrial machines to produce quality products by adapting to all these developments, reliable, fast, high precision and maximum efficiency work is the basis of the industry sector. Automation comes into play in systems where precision, speed and efficiency come to the fore.

In large-scale field systems, the rapid transfer of information depends on the mechanical components of the machine, but also on the speed of the communication protocol used. As the size of the data transferred increases, the speed begins to fall, moving at the opposite rate, and machine efficiency is negatively affected. In order to eliminate this disadvantage, fast and reliable communication protocols developed for complex machines have taken their place today.

In this review article, Profibus, Modbus and Canbus protocols, which are actively used in the industrial sector, are examined from industrial communication protocols. By comparing protocols, a protocol that can meet the needs of industrial machine automation is envisaged.

Keywords: Communication Protocols, Industrial Automation, Modbus, Profibus, Canbus

* Sorumlu Yazar: fulya-aslan@hotmail.com

1. Giriş

Endüstri sektöründe üretici firmalar için bazı temel gereksinimler vardır. Bunların başında kullanılan makinalarda yüksek hız, hassasiyet, güvenilirlik ve verim gelmektedir. Bu temel gereksinimler gerçekleşirken sistemin kolay ve anlaşılır olması, uzaktan kontrol edilebilmesi ve uzaktan izlenebilir olması da aynı önemi taşımaktadır. Tüm bu gereksinimler otomasyon sektörünün doğuşunu gerçekleştirmiştir.

1970'li yıllarda sistemleri kontrol eden cihazlar röleler ve elektronik kartlardı. Ancak zaman içerisinde artan müşteri gereksinimleri ve istekleri mevcut çözümleri yetersizleştirdi. Bu gereksinim ve isteklerin en başında makine izleme, uzaktan müdahale, veri toplama, veri işleme ve raporlama gelmekteydi. Bu istekler doğrultusunda ilk PLC'lerin ortaya çıkışıyla, müşterilerin birçok ihtiyacı çözümlendi.

Saha sistemlerinde PLC'ye ulaştırılan veriler kablolar ile taşınmaktaydı. Mesafe, açık hava koşulları, makinanın çalışma ortamı ve taşınan verinin büyüklüğü kabloların uzunluğu, ağırlığı gibi bazı sorunları da beraberinde getirdi. Gelişen yeni teknolojiler ile birlikte kullanılan kablo sayısı, kablo kesiti ve buna bağlı olarak kablo ağırlıklarında ciddi miktarda azalma oldu.

Büyük üretim tesislerinde ağır şartlara sahip ortamlarda gerçek zamanlı kontrol, veri bütünlüğünün sağlanabilmesi ve kablo maliyetini azaltmak için endüstriyel haberleşme protokolleri ile yeni ağ türleri ortaya çıktı.

Söz konusu bu haberleşme protokolleri ve her bir protokole ilişkin ağ yapısı saha makineleri, PLC'ler ve PC'ler arasında bir iletişim yolu oluşturarak, özellikle endüstriyel otomasyon alanında önemli bir kontrol mekanizması olarak yerlerini alırken aynı zamanda da verimin artırılmasında son derece önemli hale geldiler.

Otomasyon sistemlerinin kritik birimi olan endüstriyel haberleşme protokolleri Açık ve Kapalı Sistem Haberleşme Protokolleri olarak iki grupta incelenmektedir.

Kapalı Sistem Haberleşme Protokolleri, firmaların kendi üretmiş oldukları ürünler arasında veri akışını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Bu protokoller dışarıdan bir başka üretici tarafından üretilmiş cihazların veri yoluna eklenmesine kapalıdır. Bu nedenle kapalı sistem haberleşme protokolleri olarak adlandırılmıştır.

Açık Sistem Haberleşme Protokolleri ise hem üreticiler hem de bağımsız firmalar tarafından geliştirilen haberleşme protokolleridir. Bu protokoller birbirinden farklı üreticilerin cihazları arasında veri akışı sağlamasına olanak sağlar.

Bu çalışmada Açık Sistem Haberleşme protokollerinden Canbus, Modbus ve Profibus'ın verimliliği arttırmadaki etkinliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Haberleşme protokollerinin kendi içerisinde iki farklı türe ayrılması sebebi ile de çalışma Açık Sistem Haberleşme Protokolleri ile sınırlandırılarak nitel bir metot uygulanmıştır.

1999 yılında Farsi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Can protokolü incelenmiştir. 1980'lerde Robert Bosch tarafından, kullanım kolaylığı ve düşük maliyetinden dolayı otomotiv ve otomasyon endüstrilerinde geniş çapta benimsenmiştir. Bu makale, Can protokolünün her iki sektörde

de nasıl kullanıldığını açıklamaya yönelik yazılmıştır (Farsi vd.,1999).

Thomesse tarafından 2005 yılında yayınlanan makalede teknolojinin başlangıcından itibaren günümüze dek tüm gelişmelerine değinilmiş, çeşitli teknik çözümler analiz edilerek sınıflandırılmıştır. Fieldbus teknolojisinin özellikle zamansal yönleri, ortam erişim kontrol protokolleri ve uygulama ilişkileri ele alınmıştır (Thomesse,2005).

Bao ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış olduğu çalışma Profibus istasyonlarında gelişmiş bir analiz yöntemini önermektedir. Bu yöntemde, ana Profibus DP ağları analiz edilir ve farklı jeton işleme modları kullanılarak öncelik seviyesindeki mesajların ağ yükü üzerindeki etkisi araştırılır. Sonuç olarak, Profibus ağının gerçek zamanlı özelliği, çoğu zorlu uygulamada ihtiyaçları karşılayabilecek özellikte olduğu kanısına varılır (Bao vd., 2009).

2010 yılında Kaya tarafında yapılan tez çalışmasında maliyet analizi sunmak amacı ile Modbus ASCII ve Modbus RTU protokolleri karşılaştırılmış, maliyet analizi sonucunda programlama dili ile yazılmış Modbus protokolü ile yapılan sistemlerin minimum maliyet ile oluşturulduğu görülmüştür (Kaya,2010).

2014 yılında Vadi, Güler ve Bayındır tarafından dergide yayınlanan çalışmada Osi katmanı incelenmiş ve bu katmanı kullanan haberleşme protokolleri konusuna değinilmiştir. Modbus, Profibus, Devicenet, Pacnet, Ethercat, Profinet, Modbus TCP/IP, Ethertnet IP, Canbus, Sercos, Interbus, ASCII, Hart protokolleri incelenmiştir (Vadi vd., 2014).

2015 yılında Mısır tarafından hazırlanan tez çalışmasında Can iletişim protokolü ile silo sistemlerine depolanan yapı kimyasal maddelerinin dolumu, boşaltımı ve madde korunumu için otomatik silo kontrol sistemi tasarlanmış ve bu kontrol sistemin izlenmesi için Can haberleşme protokolü ile bir algılayıcı ağı oluşturulmuştur (Mısır,2015).

Popov tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada ise ulaşım sistemlerindeki dijital iletişim için tipik olan değişken iletişim kanalı parametreleriyle oldukça gürültülü ortamlarda çalışan iletişim protokollerinin dinamik optimizasyonu sorunu ele alınmıştır. Önerilen bu yaklaşım, modeli karmaşıklaştıran ve ek hatalar ortaya çıkaran ayrıntılardan arındırılmıştır. İletişim sürecinin en temel özellikleri incelendiğinden, yaklaşımın anlaşılması ve uygulanması kolaydır. Optimizasyonun temeli, bir bilginin doğru iletilme olasılığı, iletişim paketinin parametreleri ve iletişim kanalının etkili kullanımı arasındaki analitik ilişkidir (Popov,2019).

Goli ve Safavi'ye ait 2019 yılına ait çalışmada pratik ve esnek bir yol sağlamak adına Fieldbus fiziksel katmanı ile farklı türdeki fiziksel katmanları bir araya getirerek sinyaller analiz edilmiştir. Önerilen model iletim hattı modellenmesine göre oluşturulmuştur ve HSpice kullanılarak simüle edilmiştir. Sonuçlar simülasyon performansını doğrular nitelikte olmuştur (Goli&Safavi,2019).

2. Haberleşme Protokolleri

Haberleşme Protokolleri, sistemin parçası olan tahrik elemanları, sensörler, kontrolörler gibi otomasyon ekipmanlarının birbirleri ve farklı cihazlar arasındaki veri iletişiminin ortak veri hattı üzerinden gerçekleştirilmesidir.140 şirketin bir araya gelerek oluşturduğu, endüstriyel otomasyon

pazarında yaklaşık %80'lik bir paya sahip olan bu sistemler, "Fieldbus Foundation" tarafından desteklenmektedir (Bayır&Soylu,2014).

Saha Veri Yolu Sistemleri olarak da adlandırılan Haberleşme protokolleri, daha çok endüstriyel otomasyon sektöründe görülen makine verilerini toplama ve izlemek amacı ile kullanılan sensör, transmitter, sürücü gibi ekipmanlar ile bu cihazlardan alınan verilerin toplandığı ekipmanlar arasında iletişimi sağlayan zincir, halka, yıldız, ağaç ve dal tipi iletişim ağlarında kullanılabilen bir ağ türüdür ve haberleşme protokolleri başlığı altında da toplanabilir (Selçuk & Özçelik,2000).

Endüstriyel makinelerin geniş bir yelpazeye sahip olması farklı haberleşme protokollerinin doğmasına neden olmuştur. Bir haberleşme protokolü seçimi yaparken bakılması gereken en önemli kriter uygulamanın ihtiyaçlarıdır. Maliyet de göz önünde bulundurularak seçilecek protokolün sisteme kolay entegre edilebilir olması, sistem kontrolü için gerekli hız ve zaman kriterlerine sahip olması, uygulamada taşınacak veri miktarına uygun veri kapasitesine sahip olması gerekli şartlardır. Bu şartları ise protokolün mimarisini de belirleyen ağ topolojisi, açık-kapalı sistem yapısı ve hata teşhis imkanları belirlemektedir.

2.1. Profibus Protokolü

Proses Saha Yolu Process Field Bus uluslararası standartlarla (IEC 61158, EN 50170) tanımlanmış açık saha endüstriyel iletişim protokolüdür (Bayır, İ. Ve Özçelik, İ., 2017). Profibus, 1987 yılında 21 firmanın katılımı ile 'alan veri yolu' denilen proje ile ilk olarak ortaya atılmış, daha sonradan Alman Eğitim ve Araştırma Departmanı (BMBF) tarafından 1989'da yapılmıştır (Onur,2008).

Farklı üreticilerin ürettiği Profibus cihazları arasındaki iletişim, herhangi bir arabirim gerektirmeden yapılabilir. Bu özellik Profibus' in açık (interoperability) bir standart olmasını sağlar. Bu özelliğe ek olarak Profibus, hem yüksek hız gerektiren kritik zamanlı uygulamalarda hem de karmaşık iletişim işlerinde kullanılabilir.

2.1.1. Profibus Temel Karakteristikleri

Profibus, saha seviyesinden hücre seviyesine kadar dağıtılmış sayısal kontrol cihazlarının bir ağ üzerinden haberleşmesini sağlayan bir iletişim protokolüdür. Profibus, birden fazla aktif istasyonlu (master) bir sistemdir. Bu yapı, dağıtık çevreirim cihazlarının aynı anda tek bir veri yolu üzerinden kontrol edilmesi ve izlenmesini sağlar (Yiğit,2000).

Profibus' in ağ topolojisi master (yönetici, efendi) ve slave (yardımcı, köle) istasyonlarından oluşur. Bu istasyon devreleri birbirinden ayrıdır. Veri ekranlı kablo ile iletilir (Öztürk&Yılmaz,2007).

2.1.1.1. Aktif İstasyonlar (Master)

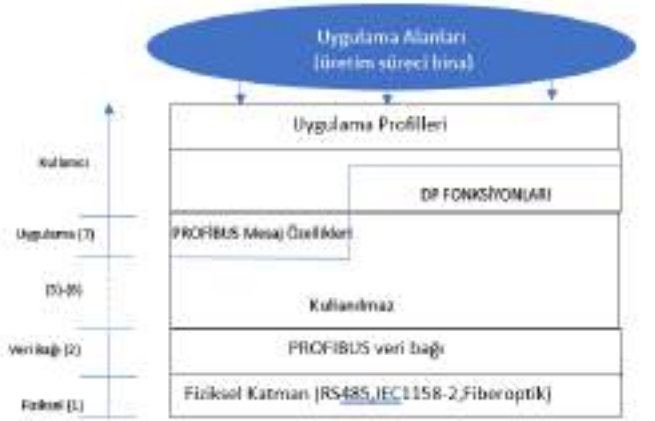
Veri yolu üzerindeki veri trafiğini belirlerler. Veri yoluna ulaşım hakkına (jeton) sahipse, bir master istasyonu herhangi bir talep olmadan mesaj gönderebilir. Programlanabilir lojik kontrolörler (Programmable Logic Controller, PLC), operatör paneller (Operator Panel, OP) ve kişisel bilgisayarlar (Personel Computer, PC) master cihazlara örnek olarak verilebilir.

2.1.1.2. Pasif İstasyonlar (Slave)

Çevreirimdeki cihazlar veya elemanlardır. Giriş/Çıkış modülleri, valfler, motor tahrik üniteleri ve transmitter pasif cihazlara örnek olarak verilebilir. Bu cihazların veri yoluna ulaşım hakları yoktur; ya yalnız gelen mesajları teyit ederler ya da master cihazdan istek geldiğinde onlara mesaj gönderirler.

2.1.2. Profibus Protokol Yapısı

Profibus protokol yapısı, IEC 61158 ve EN 50170 standartları ile tanımlı olup OSI referans modeline dayanmaktadır. OSI referans modeline göre oluşturulan modelde her katman, kendisi için net olarak tanımlanmış görevleri gerçekleştirir: Katman 1 (fiziksel katman), fiziksel taşıma karakteristiklerini belirlerken, Katman 2 (veri bağı katmanı) veri yolu erişim protokolünü belirler. Katman 7 (uygulama katmanı) ise uygulama fonksiyonlarını tanımlamaktadır (Bayır&Soylu,2014).



Şekil 1. Profibus protokol yapısı

Profibus-DP, katman 1, 2' ye ilave olarak kullanıcı arabirimi kullanan etkili bir iletişim protokolüdür. Katman 3, 4, 5, 6 ve 7 bu profil için tanımlanmamıştır. Özelleştirilmiş bu yapı, hızlı ve etkin bir haberleşmeye imkân tanır. Direk veri bağı eşleyici (Direct Data Link Mapper, DDLM), kullanıcı arabiriminin katman 2'ye kolay erişimini sağlar. Kullanıcı arabirimi bölümünde, çeşitli cihazlar için kullanıcı fonksiyonları ile sistem ve cihaz reaksiyonları tanımlanmıştır (Profibus Technical Description,1999).

Sağlamış olduğu yüksek hızda veri haberleşmesi sayesinde bina otomasyonu ve makine otomasyonu gibi zamanın kritik önem taşıdığı sektörlerde kullanılmaktadır.

Profibus-FMS, katman 1, 2 ve 7'nin tanımlandığı genel bir iletişim protokolüdür. Uygulama katmanı, Saha yolu Mesaj Özellikleri (FMS) ve Düşük Katman Arabiriminden (Lower Layer Interface, LLI) oluşur. FMS, master-master (ana-ana) ve master-slave (ana-köle) iletişimi için birçok haberleşme hizmeti tanımlarken LLI, çeşitli haberleşme ilişkilerini sağlar (Hung,2000).

Profibus-PA, genel amaçlı otomasyon ile proses otomasyonu arasındaki haberleşmeyi sağlar. Proses endüstrisinin gerekleri ve

esasta güvenlik zorunluluğu taşıyan veya taşımayan bölgelerdeki uygulamalara çözüm sunar. Ayrıca saha cihazlarının Profibus üzerinden enerjilendirilmesine olanak sağlar (Yiğit,2000). IEC 1158-2 içerisinde belirlenen iletim tekniğini kullanır. Güvenli bir devrede veri yolu hatlarından zayıf akım geçer ve arıza oluşsa bile patlayıcı kıvılcım oluşmaz böylece patlama riski minimize edilir. Profibus-PA' nın dezavantajı, 31.25 kbit/s'lik veri iletim hızına sahip olmasıdır ki bu da veri aktarımını ve cevap süresini olumsuz etkilemektedir.

Veri Bağı Katmanı bir istasyonun veri gönderme talebini aldıktan sonra verinin nasıl gönderileceğini belirler. Bu aktarım iki tip ihtiyaca göre belirlenir. Bunlar;

Kompleks otomasyon sistemleri (ana birimler-master) arasındaki haberleşme esnasında bütün istasyonlara, tanımlanan zaman aralığında görevlerini yerine getirebilmek için yeterli zaman tanımlanmalıdır.

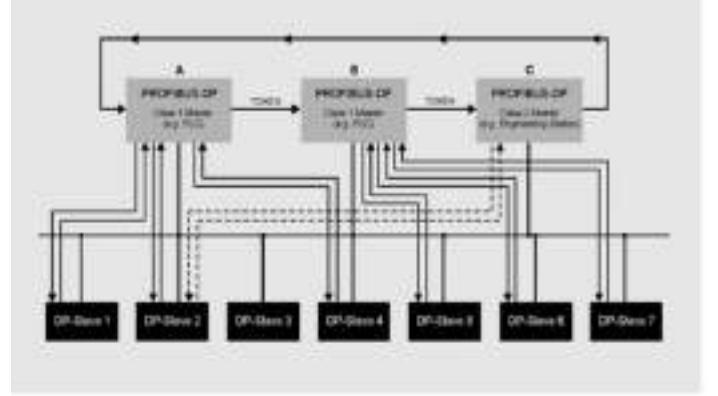
Kompleks bir programlanabilir kontrolör ile ona atanmış uydular (slave) arasındaki haberleşme için, çevrimsel, gerçek zaman veri iletişimi en kolay ve en hızlı bir şekilde uygulanmalıdır.

Şeklinde (Kaya,2010). Bu ihtiyaçlardan yola çıkarak Profibus erişim kontrolü, kompleks veri yolu istasyonlarının (master) birbirleri ile haberleşmesi için jeton aktarma prosedürünü (token passing procedure) kullanır.

Jeton aktarma prosedürü (token passing procedure) her master cihaza daha önceden zaman aralığı tanımlaması yapar. Veri yoluna erişim hakkı, bir master cihazdan diğerine özel bir paket olan jeton paketi vasıtasıyla aktarılır. Bu paket, mantıksal bir jeton halkasındaki (token ring) tüm master cihazları, önceden tanımlanmış olan maksimum jeton rotasyon süresi (token rotation time) içerisinde dolaşmalıdır. Bu süre, daha sonraki güncellemeler için tekrar konfigüre edilebilir.

Jeton aktarma prosedürü, yalnızca kompleks istasyonların kendi aralarındaki haberleşmelerinde kullanılır.

Master-slave prosedürü; o anda jetona sahip master cihaz, slave cihaz (lar)ına erişim hakkını tanıır. Master, slave cihazına mesaj gönderebilir veya onun gönderdiği mesajı okur. Erişim sistemindeki bu prosedürler sayesinde, aşağıdaki konfigürasyonlar gerçekleştirilebilir ki bu yapı, sistem konfigürasyonuna büyük esneklik sağlar (Willig&Wolisz, 2001).



Şekil.2 Profibus Token Passing ve Master-Slave Haberleşmesi

Profibus Veri Paketi genel olarak; bir başlangıç belirtici (start delimiter, SD) alanı, bilgi alanı (information field), çerçeve kontrol dizisi (Frame Control Sequence, FCS) ve bitiş belirticisinden (End Delimiter, ED) oluşur (IEC 61158 series, 2001, Siemens,1999). Her Bir Profibus paketi, maksimum 255 bayttan oluşur.



Şekil 3. Veri bağı çerçeve biçimi

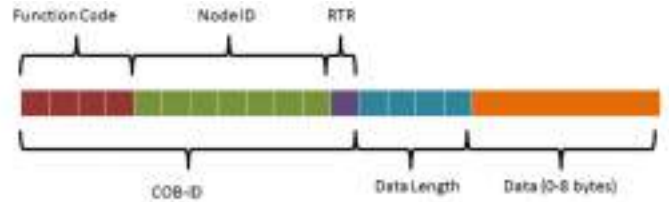
2.2. Modbus Protokolü

Endüstriyel otomasyon haberleşme protokollerinden biri olan Modbus protokolü, Modicon firması tarafından 1979 yılında PLC'lerin haberleşmesi için geliştirilen bir protokoldür. Kolay kullanımı, açık protokol olması ve fazla kısıtlaması olmayan bir protokol olduğundan endüstriyel alanda oldukça yaygın kullanılmaktadır. Çalışma mantığı efendi-köle (Master-Slave) yapısına dayanır ve haberleşme daima master tarafından başlatılır (Coşgun,2016). Modbus haberleşme ağında PLC, HMI, I/O (Giriş/Çıkış Birimleri), ağ geçitleri (Gateway) ve sürücüler gibi birçok farklı tipte cihaz bulunabilir. Şekil 4' de görüldüğü gibi farklı fiziksel katmanlarda çalışan farklı Modbus protokol ağları birbirlerine ağ geçidi aracılığıyla bağlanabilir.

2.3. Canbus Protokolü

Kelime anlamı olarak Controller Area Network kelimelerinin kısaltılmasından oluşan Can, özellikle otomotiv sektöründe kullanılan yoğun kablolanmanın önüne geçerek, kontrolörlerin iki kablo üzerinden karşılıklı haberleşmesini sağlamak amacı ile kurulmuş bir network ağıdır. Özellikle Otomotiv sektörü için 1980'li yıllarda Robert Bosh tarafından geliştirilmiştir.

Canbus protokolü, mesaj tabanlı bir haberleşme protokolüdür. Çoğu haberleşme protokolünde yapıldığı gibi modüllerin adreslerine göre bir programlama yapılmamaktadır. Mesaj çerçevesi içerisinde hedef adresi yoktur. Ağ üzerindeki alıcı düğümler tüm mesajları kontrol eder ve kendileri için uygun olan mesajı alırlar. Bu yüzden taşınan veri boyutu maksimum 8 byte'dır.



Şekil.7 Canbus veri paketi yapısı

Can hattında maksimum veri aktarım hızı 1000Kbit/s kadar çıkabilmektedir. Veri ağı uzunluğu da 1000m uzunluğa kadar çıkmaktadır. Tablo 1'de veri aktarım uzunluğu ile maksimum aktarım hızı arasındaki ilişki verilmiştir.

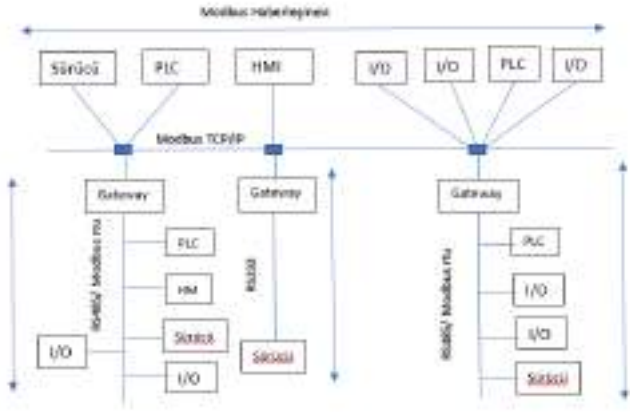
Tablo 1. Veri ağı uzunluğu ile aktarım hızı arasındaki ilişki

Veri Ağı Uzunluğu (m)	Aktarım Hızı (kbits/s)
50 metre	1000 Kbit/s
110 metre	500 Kbit/s
620 metre	135Kbit/s
790 metre	100Kbit/s
1000 metre	50Kbit/se

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Profibus

OSI katmanı yapısı sayesinde hızlı ve etkin haberleşme imkânı sağlar. Katmanlarda cihazın reaksiyonlarını, fonksiyonlarını okuyabilir aynı zamanda sisteme dahil edilen bileşenlerin kimlik bilgilerine ulaşabiliriz. 2.Katmanı olan Veri Hattında kullanılan Profibus DP, Profibus PA ve Profibus FMS profilleri sayesinde hızlı ve uygulamaya yönelik veri yapısı oluşturur. 7. Katmanı olan Uygulama Katmanında sunulan DPV0, DPV1 ve DPV2 versiyonları sayesinde gelişmiş uygulama alanı sağlar.

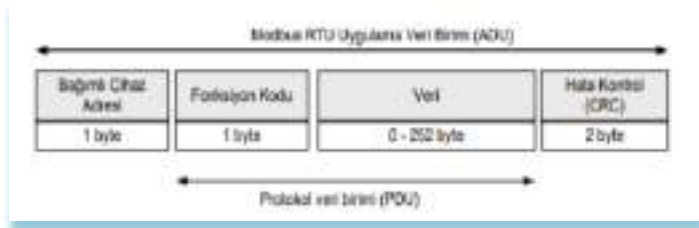


Şekil.4 Modbus ağ mimarisi

Modbus Protokolü OSI Referans modelinin 1,2 ve 7. Katmanını kullanır. 2. Katmanda olan Veri bağı katmanının da Modbus RTU ve Modbus ASCII protokolleri çalışır.

Modbus RTU Protokolü, Modbus RTU protokolü bir çeşit ana birim/bağımlı birim (master/slave) arasında veri haberleşmesi yapan bir protokolüdür. Üzerinde bir ana cihaz (master node) ve bu cihaza bağlı çalışan bağımlı cihazlar (slave node) bulunur. Her karakter 1byte boyutundadır. Hata kontrolü CRC hesaplama yöntemi ile yapılmaktadır.

Veri paketinde maksimum 256byte veri taşıma kapasitesine sahiptir.



Şekil.5 Modbus RTU veri paketi yapısı

Modbus ASCII Protokolü, verilerin ASCII kodlama sistemine göre kodlanarak yollanmasına dayanır. Hata kontrolü olarak Boylamsal Artıklık Kontrolü (LRC- Longitudinal Redundancy Check) kullanılır. LRC iki karakterden oluşmaktadır ve her gelen paket için özel hesaplanır. Her karakter 2 byte olacak şekilde yollanır. Bu yüzden Modbus RTU protokolünde yollanan bir mesaj boyutu Modbus ASCII protokolünde iki katı kadar daha büyüktür ve bu da Modbus ASCII protokolünün iletim hızının, Modbus RTU protokolüne göre daha yavaş olmasına yol açmaktadır.



Şekil.6 Modbus ASCII veri paketi yapısı

OSI Katmanı	PROFIBUS			Yönetim	
7	Uygulama	DPV0	DPV1		DPV2
6	Sunum				
5	Oturum				
4	Taşıma	--			
3	Ağ				
2	Veri Hattı	FDL			
1	Fiziksel	EIA-485	Optik	MBP	

Şekil.8 OSI Katman Yapısı

Profibus DP protokolü ile 100 m'de 12 Mbps hızına kadar veri taşınabilir.

Profibus da diğer protokollerden farklı olarak birden fazla master cihaz bulunabilir. Master cihazlar arasında Token passing erişim kontrolü kullanılır. Bu sayede master cihazlar altında çalışan enerjilendirilmemiş slave cihazlara da yayın yapılabilir. Ayrıca master cihazların biri arızalanmış olsa dahi diğer master çalışmaya devam eder. Bu özellik Profibus'ı diğer protokollerden ayırır.



Şekil.9 Token Passing ve Master-Slave Çalışma prensibi

Diğer iki protokole nazaran uzun mesafede taşınacak veri boyutu artar. Maksimum veri taşıma kapasitesi 255 byte'dır.

İstasyon veri erişilebilirliği yüksek olması nedeni ile master tarafında otomatik ya da manuel olarak hata sıfırlama yapılabilir.

Master cihazlar, slavelerin durum bilgisine ulaşabilmektedir. Slave haberleşme hızı master tarafından belirlenip slavelere deklare edildiğinden ekstra ayar gerektirmez ve yine Master, maksimum çıkacağı haberleşme hızını kendisi hesapladığından (kablo mesafesi ve slave sayısını dikkate alır) maksimum performansta çalışır. Bu da diğer iki protokolden farklı olarak daha açık, otomatik, hızlı ve anlaşılır bir mimari yapı kurulmasını sağlar.

3.2. Modbus

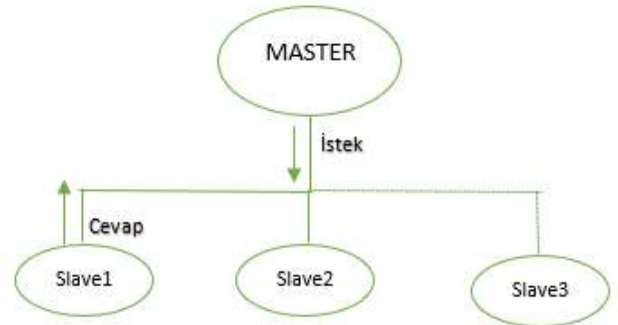
OSI Referans Modelinin 1,2 ve 7. katmanını kullanır. 7. Katman olan Uygulama Katmanı makine endüstrisinde Slave cihaz olarak kabul edilen sensörler, aktüatörler, transmitter gibi çevre birim cihazları bulunur. 2. Katmanı olan Veri İletimi katmanında ise Modbus RTU ve Modbus ASCII protokollerini sunar.

Tablo 2. Modbus Protokolü ve OSI Model katman yapısı

Katman	ISO/OSI Model	Modbus Protokolü	Uygulama
7	Uygulama	MODBUS Protokolü	Uygulama
6	Sunum	Boş	
5	Oturum	Boş	
4	Taşıma	Boş	
3	Ağ	Boş	
2	Veri İletimi	MODBUS Seri Protokolü	Hat
1	Fiziksel Bağlantı	EIA/TIA-485 veya EIA/TIA 232	

Erişim Kontrolü Master-Slave mantığı ile çalışır. Modbus protokolünde bir master bulunur. Master ile Slave arasındaki veri iletişimi sıra ile gerçekleşir. Bu da paketler arasında zaman gecikmelerine ve cevap verme sürelerinin uzamasına neden olur. Büyük boyutlu veri taşınması tercih edilmez. Çünkü hem paket büyüklüğü hem de mesafe uzadığı için veri aktarım hızı düşecektir.

Ayrıca Slave cihazlardan durum bilgisi alma yetkinliği olmadığından hata ayıklamak ve hata sıfırlamak oldukça zordur, tüm sistemin tekrar başlatılması gerekebilir.



Şekil.10 Master-Slave Çalışma prensibi, Maksimum Veri taşıma kapasitesi 256 byte'dır.

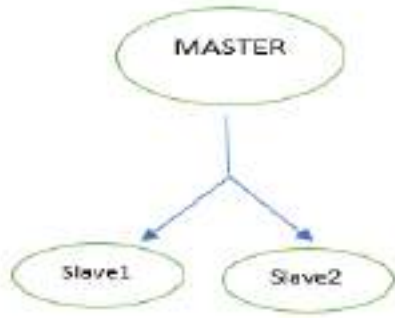
3.3. Canbus

OSI Referans Modelinin 1,2 ve 7. Katmanını kullanır. 2. Katmanı olan Veri katmanında taşınan veri boyutu maksimum 8 byte boyutundadır.

Tablo 3. Canbus OSI Referans Modeli

Uygulama Katmanı	
Nesne Katmanı	-Mesaj Durum İşleme
	-Mesaj Filtreleme
Transfer Katmanı	-Hata Durdurma
	-Hata Belirleme ve Sinyalleşme
	-Mesaj Doğrulama
	-Onaylama
	-Kabul Edilebilme (<u>Arbitration</u>)
	-Mesaj Çerçeveleme
	-İletim Oranı ve Zamanlama
Fiziksel Katman	-Sinyal Seviyesi ve Bit Oluşturma
	İletim Ortamı

Modbus da olduğu gibi Erişim kontrolü master-slave şeklindedir. Sitemde tek master olacağından slavelerden veri iletişimi sıra ile yapılmaktadır. Buda paketler arasında zaman gecikmelerine ve cevap verme sürelerinin uzamasına neden olur.



Şekil.11 Canbus Master-Slave Yapısı

Tablo 4. Canbus Veri ağı uzunluğu ile aktarım hızı arasındaki ilişki

Veri Ağı Uzunluğu (m)	Aktarım Hızı (kbits/s)
50 metre	1000 Kbit/s
110 metre	500 Kbit/s
620 metre	135Kbit/s
790 metre	100Kbit/s
1000 metre	50Kbit/s

Veri aktarım hızı 50 m mesafede 1000 Kbit/s hızına ulaşabilir.

4. Sonuç

Haberleşme protokolleri; saha makineleri, kontrolörler ve bilgisayarlar arasında bir iletişim yolu oluşturur. Özellikle endüstriyel otomasyon alanında önemli bir kontrol mekanizmasıdır ve verimin artırılmasında son derece önemlidir.

Derleme çalışmasında endüstriyel haberleşme protokollerinin etkinliklerinin incelenmesi hedeflendi. Açık sistem haberleşme protokollerinden Modbus, Profibus ve Canbus protokollerinden hangisinin daha etkin ve verimliliği arttırdığını tespit edebilmek amacı ile bu konuda yapılan çalışmalar incelendi.

Konu ile ilgili yapılan yayımlar incelendiğinde endüstriyel makinalarda protokollerden bazılarının daha etkin kullanıma sahip olduğu, bazılarının ise daha verimsiz kullanıma sahip oldukları görüldü. Çalışmada konu edinilen üç haberleşme protokolü detaylı olarak incelendi ve her bir protokole ait özelliklere yer verildi. Birbirleri arasındaki farklar tablo şeklinde sunuldu.

Tablo 5' de görülebileceği üzere Profibus protokolünün diğer protokollere göre makine endüstri sektöründe neden kullanılması gerektiğini; veri aktarım hızı, taşınabilen yüksek veri boyutu ve 127 cihaz bağlanabilme özelliği ile açıklayabiliriz. Sadece Profibus'da bulunan Token Passing özelliği sayesinde sistemde birden fazla master bulunabilmesi, enerjilendirilmemiş slave cihazlara yayın yapabileme imkânı sağlar. Ayrıca master cihaz arızalansa dahi yedek master devreye girerek sistemin durmasını engeller. Master cihazlar, slave cihazların anlık durum bilgisine ulaşır. Slave cihazların haberleşme hızını master cihazlar belirler. Bu durum ekstra bir ayar gerektirmez. Master cihazlar kendi haberleşme hızını kablo mesafesini ve slave sayısını dikkate alarak kendisi belirler ve maksimum hızda, maksimum performansta çalışmaya olanak sağlar. Düşük ve yüksek mesaj önceliği sayesinde master cihazlara ulaşan bilgiler arasında yüksek öncelikli mesajı ayırır ve hızlı reaksiyon vermeye olanak sağlar. Ayrıca mimarisinde bulunan Profibus DP, Profibus PA ve Profibus FMS varyasyonları sayesinde endüstride geniş bir yelpazeye sahip olan Profibus, işleyiş olarak tüm teknolojik yeniliklere uyum sağlayabilecek bir yapıdadır. Profibus, genişletilebilir olması nedeni ile de diğer protokollere göre daha fazla tercih edilir.

Tablo 5. Haberleşme protokollerinin karşılaştırılması

	PROFIBUS DP/PA	MODBUS RTU/ASCII	CANBUS
YIL	1989	1979	1986
KURAN/GELİŞTİREN FİRMA	BMBF/Siemens	MODICON/Schneider E.	Robert Bosch
SAHİP OLUNAN STANDARTLAR	EN 50170, EN 50254 ve IEC 61158	EN 1434-3 (Layer 7)	ISO/DIS 11519-1 ISO/DIS 11898
KABLO TİPİ	2 damarlı, bükülmüş kablo.	2 damarlı, bükülmüş kablo.	2 damarlı, bükülmüş kablo.
AĞ TOPOLOJİSİ	Doğrusal, Yıldız, Dairesel	Doğrusal, Yıldız, Ağaç	Doğrusal, Yıldız, Dairesel
MAX. BAĞLANAN CİHAZ	Her bus 32, Toplam 127 istasyon.	Modbus: 1 master+247 slave	127
MAX. VERİ AKTARIM HIZI	Pofibus DP: 12 Mbps Profibus PA:31,25 Kbps	115,2 Kbps	1Mbps
VERİ AKTARIM MESAFESİ & AKTARIM HIZI İLİŞKİSİ	Profibus: 100m & 12 Mbps 1,2 km & 93,75 Kbps (at repeaters)	1 km (at repeater)	500m & 125 Kbps 40m & 1Mbps
MAX. TAŞINACAK VERİ BOYUTU	0-255 Bytes	256 Bytes	8 Bytes
ERİŞİM KONTROLÜ	Token Passing	Master/Slave	Master/Slave
HATA KONTROL	CRC	Modbus RTU: CRC Modbus ASCII: LRC	CRC
DURUM BİLGİSİ	İstasyon (Slave) haberleşme yönetimi	Durum bilgisi alma yetkinliği yok.	Node haberleşme durumuna erişilebilirlik

Kaynakça

- Bayır, R. ve Soylu, E. (2014). MTM406 Endüstriyel İletişim Sistemleri Ders Notları. Karabük Üniversitesi. <https://web.karabuk.edu.tr/>.
- Bao, W., Zhang H., Li H., Huang W. and Peng D., "Analysis and Research on the Real-Time Performance of Profibus Fieldbus," 2009 WRI World Congress on Software Engineering, Xiamen, 2009, pp. 136-140, doi: 10.1109/WCSE.2009.181.
- Bayımış, İ. ve Özçelik, İ. (2017). IEEE 802.11 kablosuz LAN kullanarak PROFIBUS segmentlerin genişletilmesi. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg. 23(5), 573-580. doi: 10.5505/pajes.2016.15579.

- Coşgun, E. (2016). Scada Sistemleri. Kırklareli Üniversitesi.
- Farsi, M., Ratcliff, K., Barbosa, M.: An Overview of Controller Area Network. Computing & Control Engineering Journal, 113-120 (1999).
- G. Popov, "Optimization of Communication Protocols for Data Transfer in Highly Noisy Environments," 2019 International Conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth (CREBUS), Sandanski, Bulgaria, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/CREBUS.2019.8840041.
- Goli, M. ve Safavi, AA (2019). HSPICE Kullanarak Fieldbus Fiziksel Katman Simülasyonu. 2019 6. Uluslararası Kontrol, Enstrümantasyon ve Otomasyon Konferansı (ICCIA). doi: 10.1109 / iccia49288.2019.9030962.
- J. Thomesse, "Fieldbus Technology in Industrial Automation," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, no. 6, pp. 1073-1101, June 2005, doi: 10.1109/JPROC.2005.849724.
- Kaya, S. (2010). Endüstriyel Otomasyon Sistemlerinde Saha Veri Yolu Teknolojisi. İstanbul Marmara Üniversitesi.
- Mısır, O. (2015). Kontrol Alan Ağı Protokollü Sensör Ağı ile Silo Kontrol Dolu Sistemi. Elazığ Fırat Üniversitesi.
- Öztürk, N. Ve Yılmaz, C. (31 Ocak-2 Şubat 2007) Ağ Tabanlı Endüstriyel Otomasyonda Ağ Gecikmesinin İncelenmesi. *Akademik Bilişim'07- IX. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*. Kütahya: 155-158.
- PROFIBUS Technical Description, PROFIBUS Brochure, No. 4.002, September 1999.
- Selçuk, F.; Özçelik, İ.: "Endüstriyel İletişim Ağlarında Tek Standartta Doğru", Bileşim Fuar- Endüstriyel Otomasyon 2000, İstanbul, Mart 31, (2000), 114.
- S.Vadi, N. Güler, R. Bayındır, "Endüstriyel Alanlarda Kullanılan Veri İletim Tekniklerinin Karşılaştırılması " Ankara, Ocak 2014 Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C 2(1):181-188 (2014).
- Seung Ho Hung. (2000). *Profibus-FMS'nin deneysel performans değerlendirmesi. IEEE Robotics & Automation Magazine*, 7 (4), 64-72. doi: 10.1109 / 100.894034.
- Willig, A. ve Wolisz, A. (2001). *PROFIBUS belirteç geçiren protokolün hataya açık bağlantılar üzerinden halka kararlılığı. Endüstriyel Elektronik üzerine IEEE İşlemleri*, 48 (5), 1025-1033. doi: 10.1109 / 41.954567.
- Yiğit, H.C. (2000). Endüstriyel veri iletişim sistemleri ve bir profibus uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi.



20 Katlı Betonarme Yapının Farklı Perde Duvar Yerleşimlerine Göre Deprem Analizi

Özge Onat¹, Pınar Usta^{2*}

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4336-0212), onatozge09@gmail.com

^{2*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9809-3855), pinarusta@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 9 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.912625)

ATIF/REFERENCE: Onat, Ö., & Usta, P. (2021). 20 Katlı Betonarme Yapının Farklı Perde Duvar Yerleşimlerine Göre Deprem Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 363-369.

Öz

Özellikle son yıllarda yüksek katlı konut ve ticari binaların inşaatında belirgin bir şekilde artış meydana gelmiştir. Bu belirgin artış nedeniyle, deprem yükü gibi yanal yüklerin etkisi, depreme karşı yeterli güç ve dayanım sağlama problemleri fazlaca dikkat çekmiştir. Şiddetli depremler yüksek binalarda ağır hasarlara veya çökmelere neden olabilirler. Yapılan akademik çalışmalar depremden kaynaklanan yapısal hasarın büyük yer değiştirmenin nedeni olduğunu göstermiştir. Perde duvarlar bina veya yapıya yanal direnç sağlayan bir tür yapısal sistemdir. Perde duvar sistemleri ile yüksek yapılara etki eden yanal yüklerin etkisine karşı konularak binaya gelen yanal yükler azaltılmaktadır. Böylece, binalarda perde duvarların kullanılması büyük yer değiştirmeyi ve bu yer değiştirmeden kaynaklanan hasarları önleyebilmektedir.

Bu çalışmada; yüksek betonarme yapılarda kullanılan perdelerin ve perdelerin yapılarda yerleşim şekillerinin yapı deprem performansı üzerindeki etkilerini araştırmak amaçlanmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 20 kattan oluşan bir betonarme yapı ele alınmış ve farklı perde yerleşim şekline sahip olacak şekilde 4 farklı model oluşturulmuştur. Yapının modellenmesi ve deprem analizlerinde SAP2000 V22 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Perde duvar, SAP2000, Yapı, Deprem.

Earthquake Analysis Of The 20 Storey Reinforced Concrete Building According To Different Shear Wall Placements

Abstract

Especially in recent years, there has been a marked increase in the construction of tall residential and commercial buildings. Due to this significant increase, the effects of lateral loads such as earthquake loads and the problems of providing sufficient strength and resistance against earthquakes have attracted much attention. Severe earthquakes could cause severe damage or collapse in tall buildings. Academic studies have shown that structural damage caused by the earthquake is the cause of the large displacement. Shear walls are a type of structural system that provides lateral resistance to a building or structure. With Shearwall systems, the lateral loads on the building are reduced by countering the effects of lateral loads on high buildings. Thus, the use of shearwalls in buildings could prevent large displacement and damage caused by this displacement. The aim of this study is to investigate the effects and behaviour of the shear walls, which have different placement, performance of the building under the earthquake loads. To the aim, a reinforced concrete structure with 20 stories have been modelled by SAP2000 V22 finite element program to conducted earthquake analysis of the structure.

* Sorumlu Yazar: onatozge09@gmail.com

Keywords: Shear wall, SAP2000, Building, Earthquake.

1. Giriş

Köylerden şehirlere olan göçler arttıkça şehirlerde nüfus artmıştır. Şehirlerde olan bu kalabalık nüfusun barınma ihtiyacını ekonomik olarak karşılamak için binalar yüksek katlı olarak tasarlanmaya başlanmıştır (Şahin, Alyamaç, Erdoğan, 2013: 74). Yüksek binalar yapıldıkça yatay yüklerin etkisi (deprem veya rüzgâr gibi yükler) binaların tasarımında önem kazanmıştır (Othman, 2017: 1). Ülkemizin alanlarının %92'si deprem aktivitesinin yoğun olduğu kuşakta yer almaktadır (Öztürk, 2005: 1). Bu nedenle depremin yıkıcı olması, can ve mal kaybına yol açmaktadır. Deprem kuşağında yer alan şehirler için depremden gelen yatay yükleri karşılaması, binanın taşıyıcı sisteminin tasarımının düzgün yapılması önemlidir. Bir binanın deprem güvenliğine en çok katkı sağlayan taşıyıcı elemanlar perde duvarlardır (Yaman, Tekeli, Demir; 2019: 195:)

Perde duvarlar, yatay kuvvetleri karşılayan dikey elemanlardır (Kadakia, Patel Arya, 2017: 389). Perde duvarlar binalarda yanal yükler etkisi ile oluşan eğilme momentleri karşılamak için kullanılır (Dyavappanavar, Manjunatha, Kavya, 2015: 214). Perde duvarla tasarlanmış yapının deprem dayanımı ve deprem performansının arttığı, yanal ötelemenin azaldığı belirlenmiştir (Öztürk, Çağlar, Dok, Yüksel, 2017: 1892).

Deprem sırasında meydana gelen hasarlar incelendiğinde, perde duvar ile tasarlanmış binaların çerçeve ile tasarlanmış binalardan daha az hasar aldığı görülmüştür (Şahin ve diğerleri, 2013: 76). Perde duvarların düzgün konumlanmadığı yapılarda deprem sırasında fazla yanal ötelemeye maruz kaldığı için binaların yıkıldığı görülmüştür (Koç, 2016: 50). Bu nedenle perde duvarlar yüksek yapılarda yatay yüklerin karşılanması için kullanılırlar (Aktan ve Kıraç, 2010: 16).

Perde duvarlar ile ilgili literatürde yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır; Damam, 2015; çalışmasında 11 katlı bir binayı 4 farklı deprem bölgesinde, perde duvarların konumlarını değiştirerek SAP2000 sonlu elemanlar programında modellemiştir. Modellenen binaların y yönündeki kat yatay yer değiştirmeleri ve kat öteleme değerlerini grafiklerle göstermiş ve çalışmasının sonucunda köşelerinde perde duvar bulunan modelin kat ötelemesinin en düşük olduğu sonucuna varmıştır (Damam, 2015: 1261-1266).

Dyavappanavar ve ark., 2015; çalışmalarında simetrik bir plana sahip 20 katlı bir binayı çerçeve sistem ve 4 farklı perde duvar yerleşimi ile SAP2000 sonlu elemanlar programında modellemesini yapışlardır. Modellenen binaların kendi yükleri altında, eşdeğer statik metot ve tepki spektrumu analizlerini yapmışlardır. Analizleri yapılan binaların x ve y yönlerinde kat öteleme değerlerini grafiklerle göstermişlerdir. Perde duvarları köşede olan tasarım daha az öteleme yaptığı sonucuna varmışlardır (Kadakia ve diğerleri, 2017: 388-397).

Gupta ve Pandey, 2019; çalışmalarında simetrik plana sahip 13 katlı bir binayı 2 farklı x çelik çaprazlı perde duvar yerleşimi ve 2 farklı betonarme perde duvar yerleşimi ile Staad pro Software programında modellemiştir. Analizi yapılan modeller eğilme momenti, kesme kuvveti, kat ötelemesi, taban kesme kuvvetleri ile karşılaştırmışlardır. Perde duvar ve çelik perde ile modellenmiş binaların kat ötelemeleri önemli ölçüde düştüğü sonucuna varmışlardır. En az öteleme betonarme perde duvarın dış köşe akslarda modellenen binada olduğunu sonucuna varmışlardır (Gupta ve Pandey, 2016: 1963-1966).

Othman, 2017; çalışmasında 5, 10, 20 ve 30 katlı binaları çerçeve sistem ve 3 farklı perde duvar yerleşimi ile toplam 16 farklı yapı modelini ETABS programında modellemiştir. Modellenen yapıları mod birleştirme yöntemi ile analizini yapmıştır. Perdelerin yerleşimi ve perdelerde bırakılacak boşluk oranının deprem davranışına etkisini incelemek için doğal titreşim periyodu, global ötelenme oranı, görelî ötelenme oranı ve perdelerin taban kesme kuvvetlerini karşılaştırmıştır. Perde duvarı dış akslarda ortada olan modelin en düşük değerleri aldığı sonucuna varmıştır (Şahin ve diğerleri, 2013: 74-86).

Prajapati ve ark., 2016; çalışmalarında simetrik plana sahip bir binayı 35 katlı çerçeve sistem ve perde duvarlı, 47 katlı perde duvarlı ve hem perde duvarlı hem de x çelik çaprazlı perde duvarlı olarak ETABS Software programı ile modellemiştir. Analizi yapılan modeller kat ötelemeleri, kat kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, devrilme momentleri, burulma düzensizliği ve mod şekilleri ile karşılaştırmışlardır. 47 katlı hem perde duvarlı hem de x çelik çaprazlı perde duvar olan modelin yer değiştirmesinin %40 azaldığını tespit etmişlerdir (Prajapati, Patel, Patel, 2016: 1963-1966).

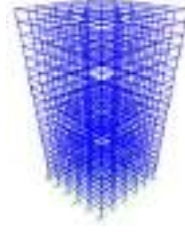
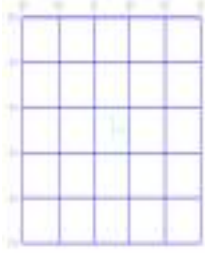
Sakcalı, 2019; çalışmasında simetrik kalıp planına sahip 3 katlı bina için farklı kolon boyutları yerleştirmiştir. 7 farklı deprem kaydını ölçeklendirerek Seismostruct yazılımı ile binanın yapısal performansını incelemiştir. Sonuçlarını inceleyerek perde duvar yerleşimini yapmıştır. Tasarladığı binalara dinamik analizler yapmıştır. Analiz sonucunda perde duvar oranının artması deformasyonları azalttığı gözlemlenmiştir (Sakcalı, 2019: 1-9).

Aktan ve Kıraç, 2010; Uçar ve Merter, 2009; Yaman ve ark., 2019; çalışmalarında perde duvar yerleşiminin yapının deprem performansına etkisini araştırmışlardır. Dış akslara konulan perde duvarların deprem performansında yatay yer değiştirmenin daha az olduğunu ifade etmişlerdir (Akman ve Kıraç, 2010:15-32) (Uçar ve Merter, 2009: 11-18) (Yaman ve diğerleri,2019: 194-204).

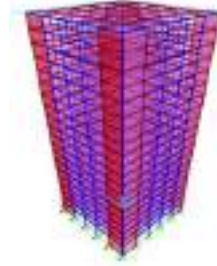
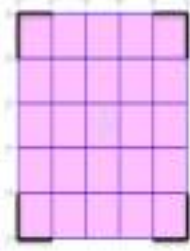
Bu çalışmada, perde duvarların yapıda yerleşim şekillerinin yapı deprem performansını nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu amaçla 20 katlı konut türü betonarme sadece çerçeve ve farklı oranlarda perde duvar yerleştirilerek tasarlanan çerçeve-perdeli binaların deprem performansları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada değişik perde oranları ile bina performansı arasındaki ilişki doğrusal elastik olmayan yöntem kullanılarak incelenmiştir.

2. Yapının Özellikleri ve Modellenmesi

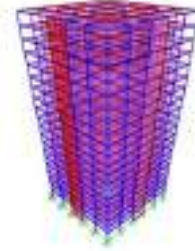
Çalışmada perde duvar oranının bina yapısal sistemine etkisini incelemek ve farklı oranlarda perde yapı elemanlarına sahip yapıların deprem performansını karşılaştırmak için çerçeve model (ÇM), perde duvarları dış köşelerde olan perdeli model (PM1), perde duvarları dış ortada olan perdeli model (PM2), perde duvarları iç köşelerde olan perdeli model (PM3) , perde duvarları merkez (çekirdekte) olan perdeli model (PM4) olmak üzere tasarlanarak, yapı modeli çerçeve sistemli ve 4 farklı perde duvar yerleşimi ile SAP2000 sonlu elemanları programı kullanılarak modellenmiştir. Modellenen binaların kat planları ve bu planlar üzerindeki perdelerin yerleşim konumları Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5'te verilmiştir.



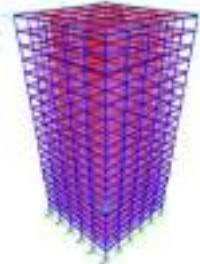
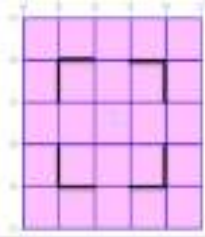
Şekil 1. Çerçeve sistemli modelin xy planı ve 3d görüntüsü (ÇM)



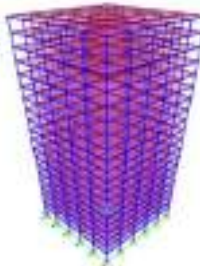
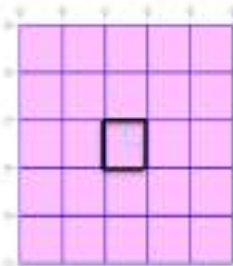
Şekil 2. Perde duvarları dış köşelerde olan modelin xy planı ve 3d görüntüsü (PM1)



Şekil 3. Perde duvarları dış ortada olan modelin xy planı ve 3d görüntüsü (PM2)



Şekil 4. Perde duvarları iç köşelerde olan modelin xy planı ve 3d görüntüsü (PM3)

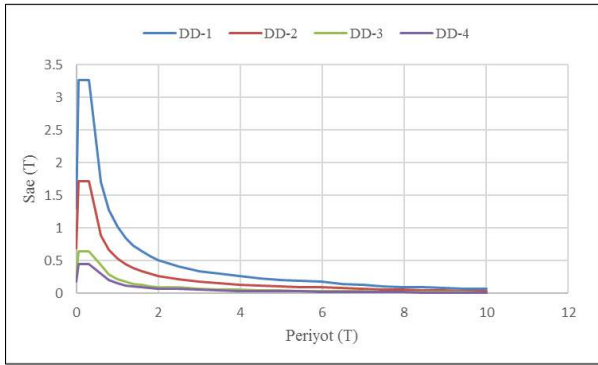


Şekil 5. Perde duvarları merkez (çekirdekte) olan modelin xy planı ve 3d görüntüsü (PM4)

Modellenen yapılar aynı kat alanlarına sahip olmakla birlikte simetriktir ve her kat 3,2m yüksekliğe sahiptir. Perdeler bina akslarına konumlandırılırken simetriye dikkat edilerek yerleştirilmiştir. Seçilen örnek binalarda beton sınıfı ve çelik malzeme olarak C30-B420C kullanılmıştır. Model binalarda kat yükseklikleri 3,2 m alınmıştır. Kolon, kiriş boyutları her katta aynı olup sırası ile 1,00x1,00 m- 0,50x0,80 m olarak belirlenmiştir. Döşeme kalınlıkları 0,15 m, perde duvar kalınlığı ise 0,5 m olarak tanımlanmıştır. Bina Önem katsayısı I=1.0 olan bu binaların ZC yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edildiği kabul edilmiştir. Çerçeve sisteme sahip model için taşıyıcı sistem davranış katsayısı R = 8, deprem yüklerinin çerçeveler ve perdeler tarafından birlikte taşındığı yüksek süneklik düzeyine sahip perdeli modeller için ise taşıyıcı sistem davranış katsayısı R = 7 olarak alınmıştır. Döşemeler üzerinde düzgün yayılı yük 1.5 kN/m2 ölü yük (sıva+kaplama) ve 2 kN/m2 hareketli yük dikkate alınmıştır. Kirişler üzerinde 3 kN/m2 duvar yükü (tuğla+sıva) öngörülmüştür. Hareketli yük katılım sayısı n=0.3 alınmıştır. Elemanların öz ağırlıkları Sap2000 sonlu elemanlar programına tanımlanarak alınmıştır. Sap2000 programında modeller oluşturulurken kiriş ve kolonlar çubuk eleman, kat döşemeleri ve perdeler ise shell elemanlar ile modellenmiştir.

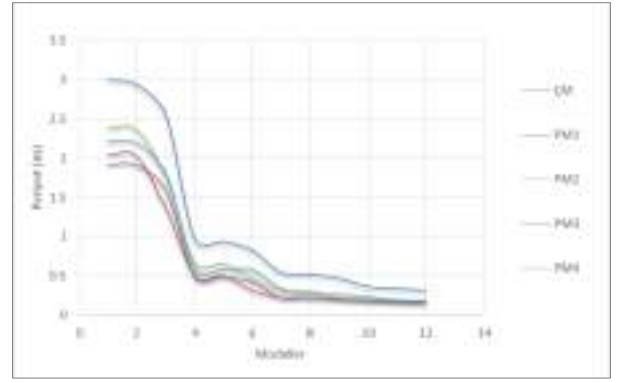
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada kullanılan binaların yönetmelikte (TBDY, 2018) verilen dört farklı deprem düzeyine göre deprem analizleri Response Spektrum analiz yöntemi kullanılarak binaların üç boyutlu hesap modelleri üzerinden SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dört farklı deprem düzeyine ait yatay elastik tasarım spektrumlarına ait grafikler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Farklı deprem düzeylerine göre yatay elastik tasarım spektrumları

Farklı modeller üzerinde dört farklı deprem düzeyine ait spektral ivmeler kullanılarak yapılan modal analiz neticesinde modellere ait periyot değerleri ve response spektrum deprem analizleri neticesinde ise yapı modellerine ait görece kat ötelemeleri, katlara göre kesme ve moment kuvveti değerleri bulunmuştur. Yapılan analizler sonucunda 5 farklı modele ait periyotlar Şekil 7'de verilmiştir.



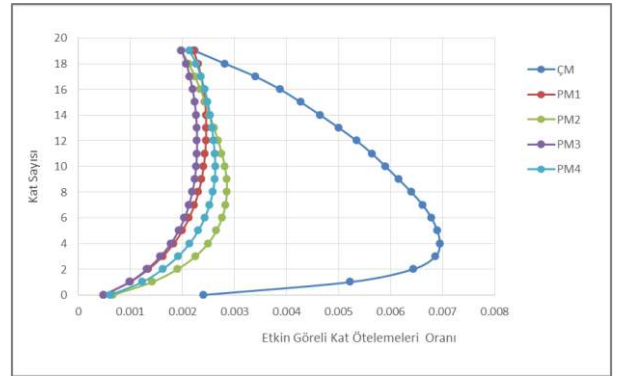
Şekil 7. Modeller ve periyot değerleri

Şekil 7 de görüldüğü gibi periyotlar sırası ile çerçevesel modelde 2,99 sn, perdeli model 2'de 2,38 sn, perdeli model 4'de 2,21 sn, perdeli model 1'de 2,03 sn, perdeli model 3'de 1,91 sn olarak bulunmuştur. Grafik değerleri incelendiğinde çerçevesel modele ait periyot değerinin en yüksek çıktığı görülmektedir.

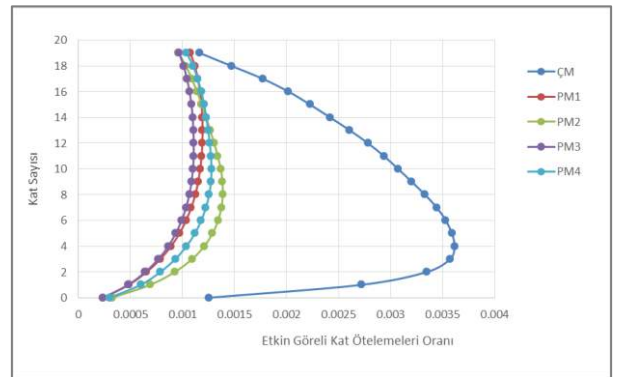
Modellerin her iki deprem doğrultusunda etkin görece kat ötelemeleri hesabı TBDY (2018) esas alınarak yapılmış ve elde edilen verilerin yönetmelikte verilen sınır değerleri aşmadığı kontrol edilmiştir. TBDY (2018) yönetmeliğinde ise λ katsayısı hesaplanarak bu sınır değeri belirlenmektedir ve aşağıdaki formül ile hesaplama yapılmaktadır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0.008\kappa \quad (1)$$

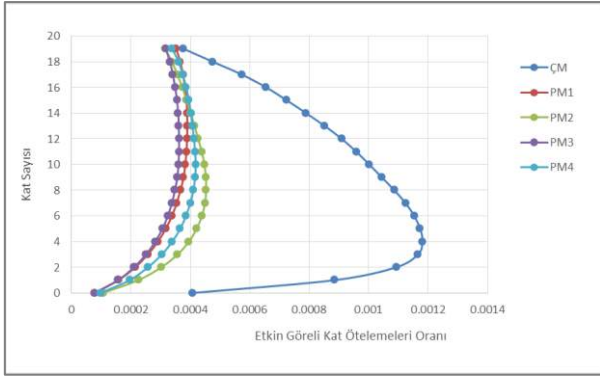
Modellerin etkin görece kat öteleme oranları Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11'de görülmektedir.



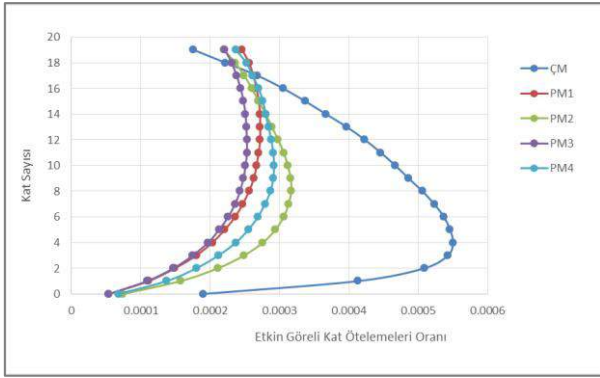
Şekil 8. DD-1'e göre modellerin etkin görece kat ötelemesi oranı



Şekil 9. DD-2'e göre modellerin etkin görece kat ötelemesi oranı



Şekil 10. DD-3'e göre modellerin etkin görelî kat ötelemesi oranı

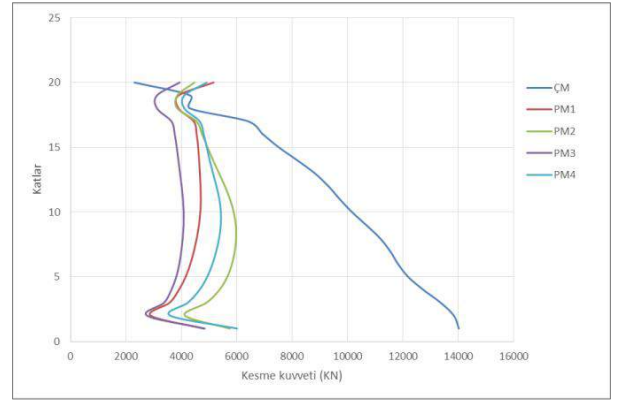


Şekil 11. DD-4'e göre modellerin etkin görelî kat ötelemesi oranı

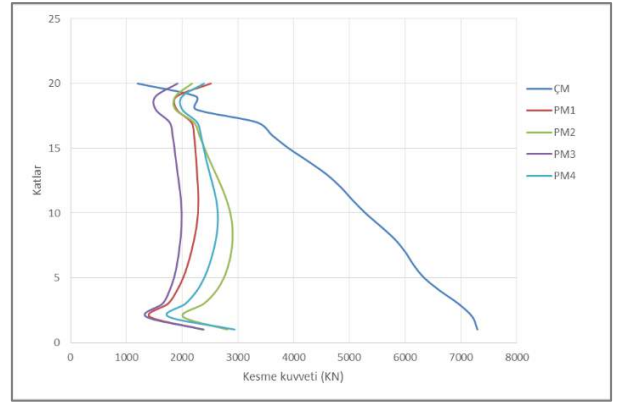
DD-1 için yapılan analizler sonucunda modellere ait X doğrultusunda maksimum etkin görelî kat ötelemesi oranı çerçevesi modelin 4. katında meydana gelmiştir ve değeri 0,00695 olarak hesaplanmıştır. DD-2 için yapılan analizler sonucunda modellere ait X doğrultusunda maksimum etkin görelî kat ötelemesi oranı çerçevesi modelin 4. katında meydana gelmiştir ve değeri 0,00362 olarak hesaplanmıştır. DD-3 için yapılan analizler sonucunda modellere ait X doğrultusunda maksimum etkin görelî kat ötelemesi oranı çerçevesi modelin 4. katında meydana gelmiştir ve değeri 0,00118 olarak hesaplanmıştır. DD-4 için yapılan analizler sonucunda modellere ait X doğrultusunda maksimum etkin görelî kat ötelemesi oranı çerçevesi modelin 4. katında meydana gelmiştir ve değeri 0,00055 olarak hesaplanmıştır.

DD-1 için yapılan analizler sonucunda modellere ait X doğrultusunda minimum etkin görelî kat ötelemesi oranı perdeli model 3'ün 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 0,00049 olarak hesaplanmıştır. DD-2 için yapılan analizler sonucunda modellere ait X doğrultusunda minimum etkin görelî kat ötelemesi oranı perdeli model 3'ün 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 0,00024 olarak hesaplanmıştır. DD-3 için yapılan analizler sonucunda modellere ait X doğrultusunda minimum etkin görelî kat ötelemesi oranı perdeli model 3'ün 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 0,00008 olarak hesaplanmıştır. DD-4 için yapılan analizler sonucunda modellere ait X doğrultusunda minimum etkin görelî kat ötelemesi oranı perdeli model 3'ün 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 0,00005 olarak hesaplanmıştır.

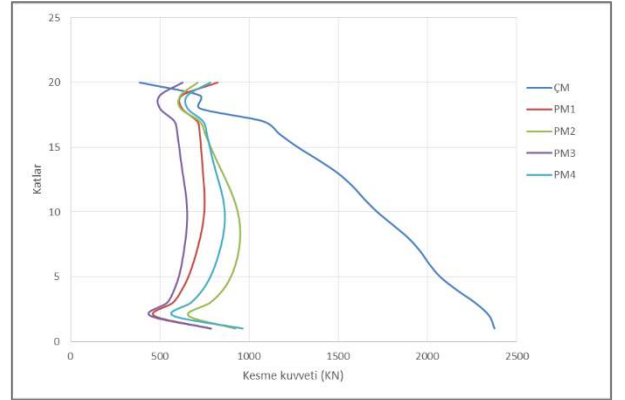
Deprem düzeylerine göre tüm katlarda X yönü için hesaplanan kesme kuvveti değerleri Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



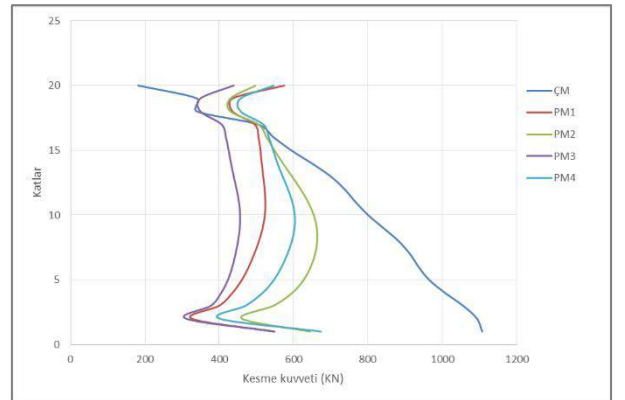
Şekil 12. DD-1'e göre Modellerin katlara göre X yönü kesme kuvvetleri (kN)



Şekil 13. DD-2'e göre Modellerin katlara göre X yönü kesme kuvvetleri (kN)



Şekil 14. DD-3'e göre Modellerin katlara göre X yönü kesme kuvvetleri (kN)

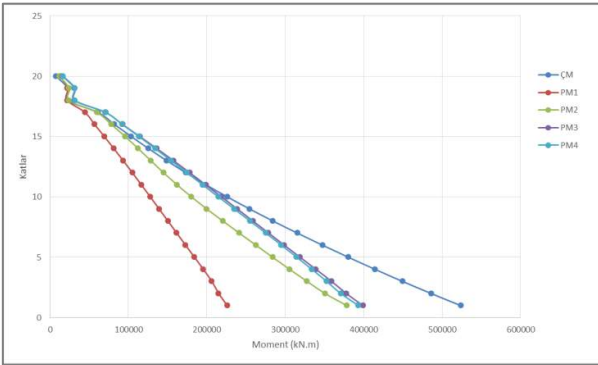


Şekil 15. DD-4'e göre Modellerin katlara göre X yönü kesme kuvvetleri (kN)

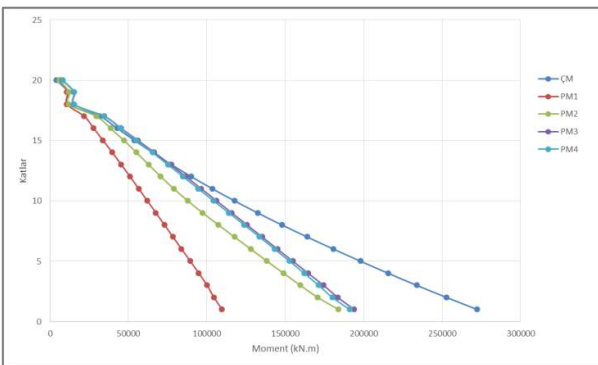
Modellerin kat kesme kuvvetleri incelendiğinde DD-1 deprem düzeylerine göre X yönü en büyük kat kesme kuvveti çerçevesi modelin 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 14012,6 kN olarak hesaplanmıştır. DD-2 deprem düzeylerine göre en X yönü en büyük kat kesme kuvveti çerçevesi modelin 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 7294,1 kN olarak hesaplanmıştır. DD-3 deprem düzeylerine göre en X yönü en büyük kat kesme kuvveti çerçevesi modelin 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 2374,8 kN olarak hesaplanmıştır. DD-4 deprem düzeylerine göre en X yönü en büyük kat kesme kuvveti çerçevesi modelin 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 1106,9 kN olarak hesaplanmıştır.

Modellerin kat kesme kuvvetleri incelendiğinde DD-1 deprem düzeylerine göre X yönü en küçük kat kesme kuvveti çerçevesi modelin 20. katında meydana gelmiştir ve değeri 2303,7 kN olarak hesaplanmıştır. DD-2 deprem düzeylerine göre en X yönü en küçük kat kesme kuvveti çerçevesi modelin 20. katında meydana gelmiştir ve değeri 1201,6 kN olarak hesaplanmıştır. DD-3 deprem düzeylerine göre en X yönü en küçük kat kesme kuvveti çerçevesi modelin 20. katında meydana gelmiştir ve değeri 386,9 olarak hesaplanmıştır. DD-4 deprem düzeylerine göre en X yönü en küçük kat kesme kuvveti çerçevesi modelin 20. katında meydana gelmiştir ve değeri 181,8 olarak hesaplanmıştır.

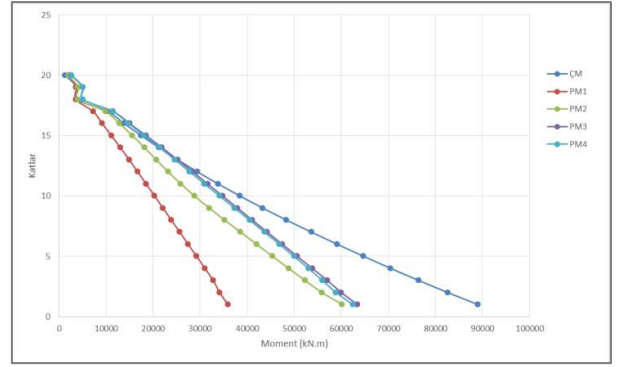
Deprem düzeylerine göre tüm katlarda X yönü için hesaplanan moment değerleri Şekil 16, Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



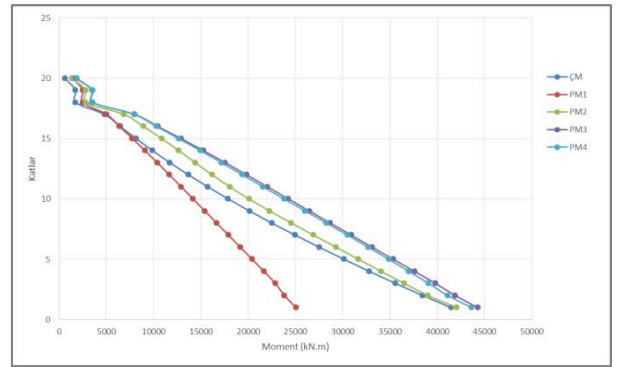
Şekil 16. DD-1'e göre Modellerin katlara göre X yönü moment kuvvetleri değerleri (kN.m)



Şekil 17. DD-2'e göre Modellerin katlara göre X yönü moment kuvvetleri değerleri (kN.m)



Şekil 18. DD-3'e göre Modellerin katlara göre X yönü moment kuvvetleri değerleri (kN.m)



Şekil 19. DD-4'e göre Modellerin katlara göre X yönü moment kuvvetleri değerleri (kN.m)

Moment değerlerine bakıldığında ise tahmin edileceği üzere kesme kuvvetinin en büyük değere ulaştığı katta moment değeri de maksimumdur. Modellerin moment değerleri incelendiğinde DD-1 deprem düzeylerine göre en X yönü en büyük moment değeri çerçevesi modelin 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 523855,1 kN.m olarak hesaplanmıştır. DD-2 deprem düzeylerine göre en X yönü en büyük moment değeri çerçevesi modelin 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 272578,1 kN.m olarak hesaplanmıştır. DD-3 deprem düzeylerine göre en X yönü en büyük moment değeri çerçevesi modelin 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 89045,3 kN.m olarak hesaplanmıştır. DD-4 deprem düzeylerine göre en X yönü en büyük moment değeri perdeli model 3'ün 1. katında meydana gelmiştir ve değeri 44284,8 kN.m olarak hesaplanmıştır.

Modellerin moment değerleri incelendiğinde DD-1 deprem düzeylerine göre en X yönü en küçük moment değeri çerçevesi modelin 20. katında meydana gelmiştir ve değeri 7930,1 kN.m olarak hesaplanmıştır. DD-2 deprem düzeylerine göre en X yönü en küçük moment değeri çerçevesi modelin 20. katında meydana gelmiştir ve değeri 4136,6 kN.m olarak hesaplanmıştır. DD-3 deprem düzeylerine göre en X yönü en küçük moment değeri çerçevesi modelin 20. katında meydana gelmiştir ve değeri 1332,1 kN.m olarak hesaplanmıştır. DD-4 deprem düzeylerine göre en X yönü en küçük moment değeri çerçevesi modelin 20. katında meydana gelmiştir ve değeri 626,4 kN.m olarak hesaplanmıştır.

Tüm katlar için moment değerleri incelendiğinde çerçevesi modelde maksimum değerlere ulaşıldığı görülmektedir.

Moment kuvvetlerinin de kesme kuvveti değerlerine bağlı olarak üst katlara çıkıldıkça aradaki farkların giderek azaldığı görülmektedir. Yapının deprem yüklerinin çok büyük bir kısmını

perdelerin taşıdığı modellerde oluşan kesme kuvveti ve moment farklarına nazaran çerçeve modellerde oluşan farklar çok daha fazla hesaplanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada; yüksek katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinde betonarme perde duvar elemanlarının deprem performansına etkileri incelenmiştir. 20 katlı bir betonarme yapı çerçeve sistem ve farklı konumlandırılmış perde elemanlı olarak Sap2000 sonlu elemanlar programında modellenmiş ve dört farklı deprem düzeyine göre yapıların deprem analizleri yapılmıştır.

Tüm perdeli-çerçeve modellerde, planda perdelerin kesit alanlarının kat alanlarına oranı eşittir sistemdeki tüm perde, kolon ve kirişler için yönetmelik çerçevesinde etkin (çatlamış kesit-(EI)_e) eğilme rijitlikleri kullanılmıştır.

Modellere ait periyot değerleri incelendiğinde en yüksek periyot değeri çerçeve model yapısında, en düşük periyot değeri ise perdeli model 3 yapısında görülmüştür. En düşük değer ile en yüksek değer arasında yapı rijitliği açısından %30 artış tespit edilmiştir.

Doğal titreşim periyodu, görelî ötelenme oranı açısından en etkin perdeli-çerçeve modelin perdeli model 3 olduğu belirlenmiştir. Şöyle ki, diğer yapı modelleri ile karşılaştırıldığında en düşük doğal titreşim periyodu görelî kat ötelenmesi oranı bu model için elde edilmiştir.

Betonarme taşıyıcı sistemi çerçeve ve perdeli-çerçeve olan modellerin etkin görelî kat ötelenmesi değerleri, katlara göre kesme kuvvetleri ve moment kuvvetleri elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde maksimum değerlerin DD-1 deprem düzeyi ve çerçeve modelde meydana geldiği görülmüştür.

Modellerdeki perde duvarların konumları dikkate alındığında perdeli model 3'de diğer modellere kıyasla daha yüksek rijitliğe sahiptir. Dolayısıyla modelin davranışında da beklenildiği gibi perdeli model 3'de x doğrultusu boyunca daha düşük yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Ayrıca çerçeve modele göre perdeli-çerçeve modelde meydana gelen yer değiştirmeler de beklenildiği gibi daha düşük mertebelere düşmektedir. Kat sayısı arttıkça perdelerin yapı davranışına katkısının azaldığı görülmüştür.

Farklı yerleşimli Perde duvarlara sahip modeller incelendiğinde; Perde duvarların L şeklinde yerleştirildiği perdeli model 3 ve perdeli model 1'in en az periyot ve görelî kat öteleme değerlerini aldığı ve betonarme yüksek katlı bina tasarımı yaparken perde duvarların bu şekillerde yerleşiminin diğer yerleşim biçimlerine göre daha güvenli olabileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- Aktan, S., & Kırac, N. (2010). Betonarme Binalarda Perdelerin Davranış Etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 15-32.
- Damam, V. S. (2015). Comparative Study On Multistoried Rcc Structure With And Without Shear Wall By Using Sap2000 V17. International Research Journal Of Engineering And Technology, 2(7), 1261-1266.
- Dyavappanavar, S. P., Manjunatha, K., & Kavya, N. (2015). Seismic Analysis Of Rc Multi-Storeyed Structures With Shear Walls At Different Locations. International Research

- Journal Of Engineering And Technology, 2.
- Gupta, A. K., & Pandey, V. Seismic Analysis Of High Rise Building With Shear Walls And Bracings.
- Kadokia, R., Patel, V., & Arya, A. (2017). Modelling And Analysis Of Irregular Geometrical Configured Rcc Multi-Storey Building Using Shear Wall. Kalpa Publications In Civil Engineering, 1, 388-397.
- Koç, V. (2016). Deprem Sonrası Ağır Hasarlı Bina Hasarlarının Sınıflandırılması. Doğal Afetler Ve Çevre Dergisi, 2(1), 46-65.
- Othman, M. K. (2017). Çok Katlı Betonarme Yapılarda Perdelerin Planda Yerleşiminin Ve Perdelerdeki Boşlukların Deprem Davranışına Etkisi (Master's Thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Öztürk, A., Çağlar, N., Dok, G., & Yüksel, M. (2017). Betonarme Perdelerin Betonarme Yüksek Binaların Deprem Performansına Etkileri.
- Öztürk, T. (2005, Nisan). İmo İstanbul Şubesi 2005 İlkbahar-Yaz Dönemi Mesleki Eğitim Kursları. Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi Ve Tasarımı.
- Prajapati, M. N., Patel, V. V., & Patel, B. R. (2016). Parameters Comparison For Different Structural System. International Research Journal Of Engineering And Technology (Irjet), 3(05), 1963-1966.
- Sakcalı, G. B. (2019, October). Betonarme Binalarda Perde Duvar Oranının Farklı Parametrelere Göre İncelenmesi. In International Conference On Earthquake Engineering And Seismology (SICEES) (Vol. 8, P. 11).
- SAP2000, Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures, 2012, California, USA
- Şahin, H., Alyamaç, K. E., & Erdoğan, A. S. (2013). Perdeli Çerçeve Yapılarda Zemin Sınıfı Ve Kat Adedi Dikkate Alınarak Gerekli Perde Oranının Tespiti. Sdu International Journal Of Technological Science, 5(1).
- Uçar, T., & Merter, O. (2009). Planda Perde Yerleşiminin Betonarme Perde-Çerçeve Binaların Deprem Davranışına Etkisi. DEÜ
- Yaman, S., Tekeli, H., & Demir, F. (2019). Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 194-204.



Gerilim Sensörü Uygulamaları İçin Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Dolgulu Elastomer Nanokompozitlerin Piezodirenç Özelliklerinin Araştırılması

Hasan Kasım^{1*}

^{1*} Emsa Nano Teknoloji Enerji San. ve Tic. A.Ş., R&D Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3024-5207), hasankasim@emsaglobal.com

(İlk Geliş Tarihi 14 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.915899)

ATIF/REFERENCE: Kasım, H. (2021). Gerilim Sensörü Uygulamaları İçin Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Dolgulu Elastomer Nanokompozitlerin Piezodirenç Özelliklerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 370-379.

Öz

Elastomer matris ve çok duvarlı karbon nanotüp (MW-CNT) dolgu malzemeleri ile hazırlanan nanokompozitlerin piezodirenç değişimine göre gerilme sensörü olarak kullanıma olasılığı araştırılmıştır. Farklı konsantrasyonlar da MW-CNT ile doldurulmuş elastomer esaslı nanokompozitlerin deformasyon davranışlarını belirlemek için piezodirenç mekanizmasının sistematik bir çalışması gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numunelerin serbest halde iletkenlikleri ölçülmüş ve süzülme eşiğini işaret eden kritik dolgu miktar aralığı tespit edilmiştir. Nanokompozit numunelerine uygulanan gerilmeye bağlı uzamaların neden olduğu direnç değişiklikleri, sırasıyla doğrusal ve doğrusal olmayan iki farklı bölgede piezo davranış göstermiştir. Direnç değişikliğinden, uygulanan gerilmeye bağlı uzamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanan ölçüm faktörü, doğrusal bölge için yaklaşık 90 ve doğrusal olmayan bölge için 270 olarak ölçülmüştür. Ağırlıkça %2,92 oranında MW-CNT dolgulu nanokompozitler, %90 ve %150 uzamalar ile yapılan tekrarlı yüklemelerde tekrarlanabilirlik ve mükemmel geriye dönüş performansı göstermiştir. Bu çalışma, elastomer malzemelere uygun oranlarda MW-CNT'ler ekleyerek piezodirenç özellikler kazandırdıklarını ve yüksek uzama gerektiren dinamik çalışma ortamlarında hassas gerilim sensörleri olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Nanotüp, Piezodirençlilik, Elastomerler, Gerilim Sensörü, Elektriksel İletkenlik.

Investigation of Piezoresistive Properties of Multi-walled Carbon Nanotube Filled Elastomer Nanocomposites for Strain Sensor Application

Abstract

The possibility of using nanocomposites prepared with elastomer matrix and multi-walled carbon nanotube (MW-CNT) filler materials as a strain sensor according to the change of piezoresistance was investigated. A systematic study of the piezoresistive mechanism was realized to determine the deformation behavior of elastomer nanocomposites filled with MW-CNT at different concentrations. By measuring the prepared samples' free-state electrical conductivity, the critical filler material amount range indicating the percolation threshold was determined. The resistance changes caused by strains due to the stress applied to nanocomposite specimens showed piezo behavior in two different regions, linear and nonlinear, respectively. The gauge factor found using the change of resistance as a function of the strain was measured as approximately 90 for the linear region and 270 for the nonlinear region. MW-CNT filled nanocomposites with a ratio of 2.92% by weight showed reproducibility and excellent recovery performance in cyclic loading tests with 90% and 150% strains. This study showed that by adding MW-CNTs to elastomer materials in optimum proportions, they gain piezoresistive properties and could be used as sensitive strain sensors in dynamic working environments that require high elongation.

Keywords: Carbon Nanotube, Piezoresistivity, Elastomers, Strain Sensors, Electrical Conductivity.

* Sorumlu Yazar: manager@emsaglobal.com

1. Giriş

Mekanik zorlamanın etkisi altındaki yapısal değişikliklerin bir sonucu olarak direnci değişen dolgu malzemeleri ile hazırlanan polimer esaslı nanokompozit malzemeler, mekanik hasarların tespitinde ve malzemeler üzerinde oluşan gerilmelerin tespitinde piezodirençli sensörler (Shivashankar ve Gopalakrishnan,2020) olarak kullanılabilir. Şu anda farklı birçok uygulama için değişik sensör türleri (kuvvet, sıcaklık, basınç vb.) kullanılmakta olup uygulanan yük veya elektrik akımına yanıt verebilmesi için bir güç kaynağına ihtiyaç duyar. Bununla birlikte, piezo elemanlar, bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan uyarıcı etkiye cevap verebilecek özelliğe sahiptirler. Piezodirenç özellikli bu sensörler yapısal sağlık alanı (Kang vd., 2006; Lu vd., 2019), titreşim kontrol uygulamaları (Qureshi vd., 2015), robotik (Shihong vd., 2019; Kanoun vd., 2021) ve endüstriyel öneme sahip birçok alanda (Shimada vd., 2017) etkili bir şekilde kullanılabilir. Özellikle elastomer esaslı malzemeler ile üretilen araç lastiği, sönümlenme takozu, hava süspansiyon yayları gibi nonlineer özelliklere sahip kompozit malzemelerin gerilim kaynaklı yapısal değişikliklerinin ve/veya mekanik hasarlarının anlık tespit edilebilmesi, ses veya optik görüntü işleme sensörleri (Wang vd., 1999; Kim vd., 2017) ile sağlanabilmektedir. Karbon allotropu olarak türetilen çok duvarlı karbon nanotüpler (MW-CNT) üstün elektriksel özellikleri nedeniyle akıllı malzemelerin üretiminde kullanılan geleneksel dolgulara alternatif olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. MW-CNT'ler ile üretilen Piezodirençli Elastomer Sensörler (PES) (Avilés vd., 2016), dinamik yük altında çalışan, çevre şartlarına karşı dayanıklı, ortam şartlarına uyum sağlayabilen farklı tiplerdeki pahalı sensörlerin (Chen vd., 2016) yerine kullanılacak potansiyel bir aday olarak kabul edilebilir. MW-CNT'lerin piezo direnç özellikleri, iyi elektrik iletkenlikleri, ultra küçük çapları, yüksek en-boy oranları ve hafif olmaları nedeniyle yüksek performanslı ve çok işlevli PES'lerin üretiminde büyük potansiyele sahiptir. PES'in hassasiyeti kullanılan bu dolgu maddesinin matris içerisindeki konsantrasyonu, hizalanması, yönelimine bağlıdır (Alamusi vd., 2011; Oliva-Avilés vd., 2011). Son zamanlarda özellikle piezo özelliklere sahip kauçuk esaslı gerilim sensörlerinin hazırlanmasında karbon siyahları (Wichmann vd., 2009), grafen (Kim vd., 2011; Meeuw vd., 2016), karbon esaslı kısa elyaflar (Yazıcı vd., 2017), karbon allotroplarından (Santos vd., 2019; Spinelli vd., 2018; Yin vd., 2011), oluşan çeşitli iletken dolgu maddeleri kullanılmıştır.

Mevcut çalışmamızda MW-CNT'ler ile hazırladığımız elastomer sensörlerin mekanik esnekliği ve dolgu malzemesinin sahip olduğu farklı uzunluklardaki şekilsel özellikleri önemli avantajlar sağlamaktadır. Eklenen dolgu malzemesi ile matris içerisinde oluşan yapısal değişiklikler sonucunda yüksek hassasiyetli iletken ağ oluşur. Dolgu oranına göre değişiklik gösteren bu iletken ağ, büyük ölçekli gerilmeler ve malzeme üzerinde oluşabilecek hasarların tespitinde gerekli mekanizmalarının etkinleşmesine neden olur. Yapılan çalışmanın amacı, numune üzerindeki mekanik gerilmeler ve bu gerilmelerin neden olduğu yapısal değişikliğe bağlı nanokompozit direnci arasındaki ilişkiyi incelemektir. Bunun için yedi farklı dolgu oranında elastomer nanokompozit hazırlanarak, farklı uzama değerlerinde iletken ağdaki deformasyona bağlı yapısal değişiklik kaynaklı direnç değişim ölçümleri yapılmıştır. Numunelere uygulanan gerilmeye bağlı olarak iletken ağdaki deformasyon ile oluşan direnç değişimini

açıklamak için teorik bir model geliştirerek, testler ile yorumlanmıştır. Piezodirenç özellikli elastomer bir nanokompoziti hazırlamanın en basit yolu, uygun iletken dolgu malzemesini yeterli oranda yalıtkan bir matris içerisine doğru karıştırma yöntemleri ile katılarak sağlanmasıdır. Bu şekilde hazırlanan bir nanokompozitin içerisindeki dolgu maddesinin matris içerisinde düzgün bir şekilde dağılması ile istenen iletkenlik elde edilebilir. Numuneler üzerine herhangi bir şekilde mekanik bir yük uygulandığında, PES içerisindeki iletken ağ deforme olur, böylece malzeme direncinde önemli bir değişiklik vuku bulur. Piezodirenç özelliğe sahip elastomer nanokompozitlerin dışarıdan uygulanan yük karşısındaki direnç değişimi Keithley 2000 dijital multimetre ile ölçülerek, yük ve direnç değişimi arasındaki ilişki kurulmuştur. Doğal kauçuk esaslı MW-CNT dolgu malzemesi ile hazırlanmış nanokompozitlerin sergilediği piezo direnç özelliklerini incelenmiş, gerilim uygulamasının bu tür nanokompozitlerin elektrik direncini artırdığını gösterilmiştir (Bokobza, 2012). Doğal kauçuk esaslı karbon siyahı, MW-CNT ve karbon nanofiber dolgu malzemeleri ile hazırlanan nanokompozit numunelerine ait elastomer matris içerisindeki karbon nanotüp ve karbon nanofiber dolguları arasında oluşan karşılıklı etkileşimin, iletken ağın oluşumu ve kopması sonucunda ortaya çıktığını, buna bağlı olarak da kararlı ya da kararsız piezo dirençlilik davranış sergilemiştir (Qingliang He vd., 2014). Robotik parmak algılama uygulamaları için grafen nano tabakalardan oluşan silikon kauçuk esaslı kompozit malzemedan hazırlanan numuneler üzerindeki gerilmenin artırılmasıyla, kompozitin elektriksel direncinin arttığı görülmüştür. Bu fenomeni açıklamak için, uygulanan yüklemeye bağlı olarak matris içerisindeki dolgu partiküllerinin deformasyonunu ve bu deformasyona bağlı iletken yolların tahribatını da incelenmiş ve hacimce %1.36 oranında kullanılan grafen nano dolgulu nanokompozitin çok düşük basınç altında bile oldukça duyarlı piezo direnç özellik sergilemiştir (Chen vd., 2007). Karboksil ile modifiye edilmiş karbon nanotüp dolgular ile hazırlanan silikon kauçuk numuneleri içerisindeki karbon nanotüplerdeki karboksil grubunun, kauçuk matris içerisinde karbon nanotüplerin dağılımı ve hizalanmasını iyileştirerek kompozit numunesinin elektriksel açıdan hassasiyetinin iyileşmektedir (Wang vd., 2010). Epoksi/cam elyaf takviyeli kompozitlerde darbe hasarını yerinde tespit etmek için MW-CNT iletken dolgu maddesi kullanarak, gerilme dağılımını değerlendirilmiş ve gerilmenin artmasıyla dirençteki farklı değişim aşamaları; hasar başlangıcı, hasarın ilerlemesi ve hasarın sonlandırılması algılanmıştır (Gao vd., 2011). İletken dolgulu polimer kompozitlerine uygulanan tek eksenli basınç değerindeki artış kompozitin toplam direncini azaltmıştır. Bu durum kompozitlerin mikro yapısı içerisindeki "iletken yol" kavramı ile tanımlanır. Her bir iletken yol iletken parçacıklardan oluşur ve nanokompozit içerisindeki toplam direnç, iletken parçacıklar arasındaki direnç tarafından belirlenir (Zhang vd. 2000). Farklı miktarlarda karbon siyahı dolgulu silikon kauçuk kompozit numunelerinin piezo direnç özelliklerini tanımlamak için önerilen çeşitli matematiksel modeller mevcuttur (Wang vd., 2009). Karbon siyahı dolgulu poliizopren kompozitin gerilme ve elektrik direnci arasındaki ilişkiye bağlı olarak, iletken dolgulu nanokompozit 20°C ila 60°C aralığında bir sensör olarak etkili bir şekilde kullanılabilir (Knite vd., 2004). Doğal kauçuk esaslı MW-CNT dolgu malzemesi ile farklı konsantrasyonlarda hazırlanan numunelerin elektriksel direnç değişiminin gerilme ile doğrusal olmayan bağımlılığı için geliştirilen teoriye göre, oldukça yüksek uzama değerleri için

iletken elastomer kompozitler piezo direnç özellikleri sergileyen bir gerilim sensörü olarak kullanılabilir (Chervanyov vd., 2016).

Yapılan literatür araştırmaları dış uyaranların etkisinin çok düşük olduğu durumlarda bile hazırlanan kompozitlerin, piezo direnç mekanizmalarının deneysel olarak iyi çalıştığını göstermektedir. Kompozitin direncindeki büyük değişiklikler kompozit matrisi içerisindeki iletken dolgu parçacıkları arasındaki mesafenin gerilmeye bağlı olarak değişmesi ile açıklanabilir. Çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar incelendiğinde, çekme gerilmesi ile değişen elektrik direnci arasında non-lineer bir ilişki mevcuttur. Uygulanan yüzdesel uzama miktarlarındaki değişkenliğe bağlı olarak kompozitin iç yapısında iletken dolguların oluşturduğu iletkenlik ağ mekanizmasında değişiklikler gözlenmiştir. Nanokompozit numunelerindeki bu davranışı açıklayabilmek için malzemenin elektriksel direnci ile matris iç yapısı arasındaki ilişkiye ait bir model oluşturulmuştur. Çalışmamız sonucunda elde edilen kauçuk esaslı MW-CNT iletken dolgulu nanokompozit karışımları ile üretilen piezodirenç özelliklerine sahip elastomerlerin çok geniş bir uygulama alanında gerilim sensörü olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler

Çalışmamızda kullanılan kauçuk grupları SMR20, CBR 1203, Kraiburg GmbH, Almanya'dan temin edilmiştir. Ortalama partikül büyüklüğü 40-48 nm, yüzey alanı 36-52 m²/g olan ve ana dolgu maddesi olarak kullanılan karbon siyahı (FEF N550) Anlaş Lastik A.Ş., Türkiye'den temin edilmiştir. Ağırlıkça %3.7 karboksilik asit (-COOH) içeriğine sahip, spesifik yüzey alanı 510 m²/g ve 2.4 g/cm³ gerçek yoğunluğa sahip ve elektrik iletkenliği 98 S/cm olan fonksiyonlaştırılmış çok duvarlı karbon nanotüpler (dış çap <8 nm, iç çap 2-6 nm, uzunluk ~ 10-35 µm ve >% 96 saflık) Nanografi Co. Ltd., Türkiye'den satın alınmıştır. Stearik asit, proses yağı, TMQ(1,2-dihidro-2,2,4-trimetil-kinolin), IPPD (N-izopropil-N'-fenil-p-fenilendiamin) çinko oksit (ZnO), sülfür (S80), CBS (N-Sikloheksil-2-benzotiyazol sülfenamid), antiozonant vaks gibi diğer tüm karışım bileşenleri ticari ürünler olarak temin edilmiştir. Karışım içerisinde kullanılan proses yağı parafinik tipte olup 0.849 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Reçete içeriğindeki tüm bileşenler phr (per hundred rubber) biriminde formülasyona eklenmiştir. Hazırlanan karışımların reçetesi Tablo 1'de gösterilmiştir.

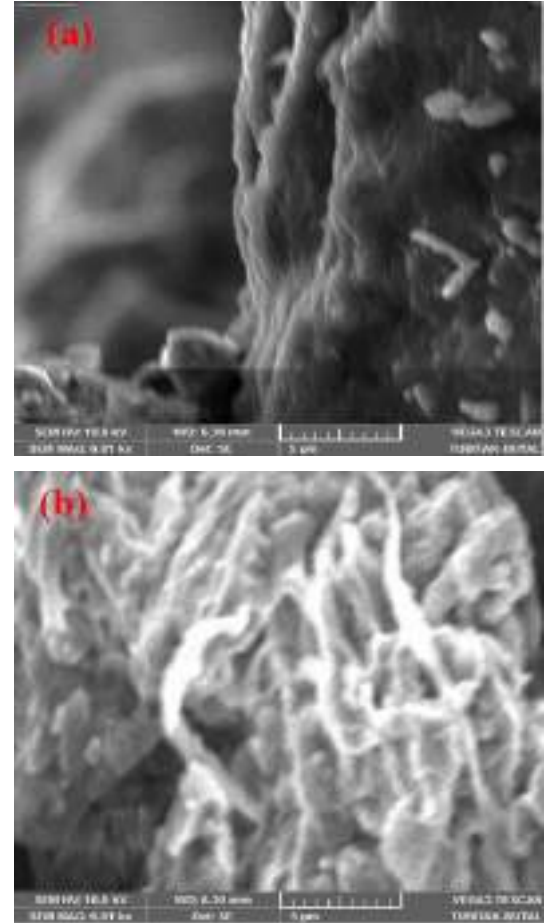
2.2. Nanokompozit Numunelerinin Hazırlanması

Kauçuk esaslı iletken nanokompozit numuneleri gerçek üretim koşullarına uygun olacak şekilde iki aşamada hazırlanmıştır. İlk aşamada kauçuk grubuna herhangi bir bileşen eklenmeden 7 dakika boyunca karıştırılarak yumuşatılmıştır. Ardından karbon siyahı dolgu maddesi (FEF N550 sınıfı, 45 phr) ve diğer kimyasallar (hızlandırıcılar, plastikleştiriciler, parafinik yağ, ozon vaks vb.) belirli bir sırayla kauçuğa ilave edilerek (Peng vd., 2010), 100 °C'de 20 dakika boyunca karıştırılmıştır. Birinci aşama sonunda elde edilen ana karışım oda sıcaklığında on altı saat dinlendirilip ikinci aşamaya geçilmiştir. İkinci aşama, ana karışımın MW-CNT iletken dolguları ve çapraz bağlayıcılarla iki milli açık bir karıştırıcıda

20 dakika süreyle 75 °C'de ve 40 rpm silindir hızında gerçekleştirilmiştir. İletken dolguların homojen bir şekilde dağılması için karışımdaki dolgu izleri kaybolana kadar sürekli çevrim sağlanmıştır. Karıştırma işlemi sonlanmadan 3 dakika önce pişirici grubu ilave edilmiş ve oda sıcaklığında karışımın olgunlaşması için dinlenmeye bırakılmıştır. Hazırlanan karışım numunelerinin viskoelastik özellikleri MDR 3000 Rheometer (Montech, Almanya) test cihazında 165 °C'de 8 dakika vulkanize edilerek belirlendi. Maksimum tork(M_H), minimum tork(M_L), skorch zamanı (t_{s2}) ve nihai torkun %90'ına ulaşmak için gereken süre (t₉₀) gibi vulkanizasyon parametreleri tespit edilmiştir.

2.3. Nanokompozit Morfolojisi

MW-CNT ile hazırlanan nanokompozit karışımları bir Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (20 kV voltaj hassasiyeti, Vega 3 Tescan) ile incelenmiştir. Nanokompozit numuneler, analizden önce 4 nm kalınlığında altın (Au) ile kaplanmıştır. Şekil 1a ve b'de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde MW-CNT'nin geniş en-boy oranını ve dolanma dereceleri net bir şekilde görülmektedir. MW-CNT'ler, kauçuk matris içerisinde az sayıda toplanma ile homojen bir dağılım sunar ve bireysel nano iletkenler seviyesinde birbirine bağlı bir dolgu ağı oluşturur. MW-CNT'ler polimer matris içinde homojen olarak dağılmıştır. Bu durum, MW-CNT'lerin potansiyel olarak düşük temas direncine sahip yüksek oranda birbirine bağlı bir ağ oluşturabileceğini, elektriksel iletkenliği ve gerilim transferini etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermektedir.



Şekil 1. Nanokompozit Numuneleri SEM Görüntüleri

Tablo 1. Kauçuk Esaslı Nanokompozit Karılum Formülasyonu

	Kauçuk Grubu		Dolgu Grubu			Kimyasal Grubu			Yağlar	Pişirici Grubu		
	SMR	CBR	FEF	MW-	ZnO	Stearik	IPPD	Ozon	TMQ	Parafinik	S80	CBS
	20	1203	N550	CNT		Asit		Vaks		Yağ		
Numune Karışım Oranları (phr)	50	50	45	(*)	2.2	2	1.1	1.1	1.3	10	2.3	1.5

(*) MW-CNT dolgu oranları sırasıyla 0,5 , 2 , 3,5 , 5 , 8 , 10 phr olarak kullanılmıştır.

2.4. Nanokompozitlerin Elektriksel Karakterizasyonu

Elastomer esaslı nanokompozit numunelerinin doğru akım elektrik iletkenlikleri 10^7 S/m'nin üzerinde olduğu durumlarda dijital bir multimetre (Keithley Instruments Model 2000) kullanılarak ölçülmüştür. Numune boyutları, test makinesine (Zwick/Roell Z010) kolay bağlantı sağlamak ve ölçüm problemlerini kolayca takmak için 40 mm uzunluğunda, 15 mm genişliğinde ve 2 mm kalınlığında özel bir kesme kalıbı kullanılarak elde edilmiştir. 10^7 S/m'nin altındaki iletkenlik değerine sahip yüksek dirençli nanokompozitler için Keithley Instruments Model 6517b tipi dijital bir elektrometre kullanılmıştır. Direnç ölçümlerinde yüzey etkilerini en aza indirmek için numunelerin uçları yalıtkan bantlar ile tamamen sarılarak ölçüm cihazının sabitleme çenelerine bağlanmıştır. Elektrotlar arasına 10 V'luk bir DC voltaj uygulanmıştır ve numunelerin elektrik direnci (R_m) Denklem (1) ile ölçülmüştür.

$$R_m = \rho \frac{t}{A_c} \quad (1)$$

Burada R_m (Ω) kompozit numunelerinin ölçülen elektriksel direnci, t (m) numune kalınlığı, A_c numunenin kesit alanı (m^2), ρ (Ωm) kompozit malzemelerin elektrik akımının akışına direnme gücünü belirten öz direncini ifade eder.

$$\sigma_i = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

σ_i (S/m) numunelerin iletkenliği olup Denklem (2) ile ifade edilir.

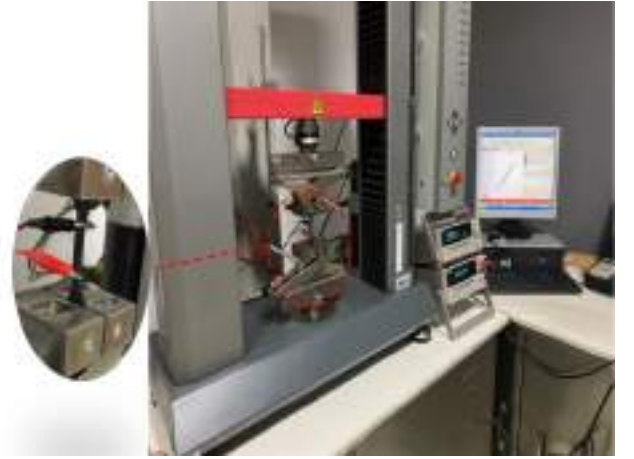
2.5. Nanokompozitlerin Piezodirenç Karakterizasyonu

Piezodirenç ölçümleri, Şekil 2' de gösterildiği gibi, çekme test makinasında (Zwick/Roell Z010, Almanya) gerçekleştirilmiştir. Numune geometrisi ve boyutları, ASTM standardı D 412'ye uygun olacak şekilde seçildi. Numunelerin bağlama çenelerine denk gelen kısımları yalıtkan maskeleme bandı ile sarılmıştır. Testler sırasında çekme test makinasının hareketli kafası 1 mm/dk hızında hareket ettirilmiş ve numuneler üzerindeki uzama değerleri otomatik olarak hareketli kısım üzerinden alınmıştır. Uzama sırasındaki elektrik direnci Keithley Instruments Model 6517b tipi dijital bir elektrometre kullanılarak ölçülmüş, test boyunca Labview yazılımı ile kayıt alınmıştır. Ölçüm problemleri numune üzerine tam temas edecek şekilde tutturulmuş ve iki prob arasındaki mesafe 15 mm olacak şekilde ortalanmıştır. Mekanik olarak testlere başlamadan önce tüm numunelerin elektriksel direnç değerleri bir dakika boyunca kayıt altına alınmıştır. Her malzemeden beş numune test edilmiştir. Ölçümler, $23 \pm 0.5^\circ C$ sıcaklığında ve $\% 50 \pm 2$ nem değerinde gerçekleştirilmiştir. Nanokompozitlerin hassasiyetleri

piezodirenç (Pr) özelliklerine bağlıdır ve Denklem (3) ile ifade edilir.

$$P_r = \frac{\Delta R}{R_0} \quad (3)$$

Burada ΔR ve R_0 , sırasıyla numuneye yük uygulandığında meydana gelen uzamaya bağlı direnç değişimi ve başlangıç direncidir.



Şekil 2. Piezodirenç Ölçümleri İçin Deney Düzenegi

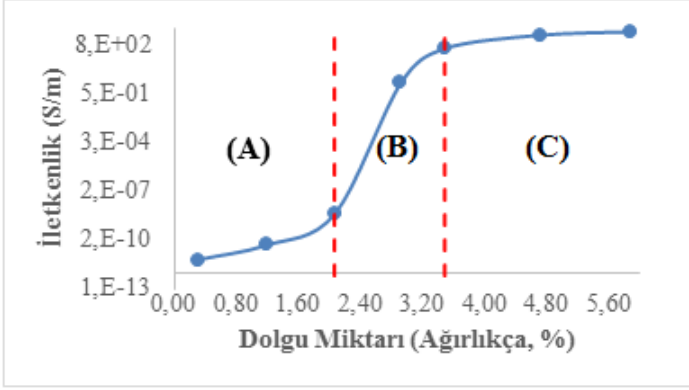
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Elastomer Esaslı Nanokompozitlerinin (ECN) Elektriksel İletkenliği

İletken dolgu maddelerinin polimer malzemelere dâhil edilmesiyle elde edilen nanokompozitler elektronik uygulamalar için büyük potansiyele sahiptirler. Bu uygulamalar için genellikle nanokompozitlerin farklı elektriksel özellikleri kullanılır. Elektromanyetik uygulamalar için hazırlanan nanokompozitlerin alternatif akım (AC) özellikleri gerekliken, gerinim sensörlerinin uygulanması için nanokompozitlerin doğru akım (DC) özelliklerine ihtiyaç vardır. Kompozitin elektriksel özellikleri, matris olarak kullanılan elastomerde bulunan iletken dolgu fazının miktarı ve yapısı tarafından belirlenir. Bir yalıtım malzemesi olarak saf kauçuk için doğru akım altında yapılan ölçümlerde 10^{-14} S/m düzeyinde bir elektrik iletkenliği elde edilmiştir. Bu durum yalıtım malzemesinden beklenen bir durumdur. MW-CNT dolgu miktarının artırılmasıyla, nanokompozitin elektriksel iletkenliğinin yalıtkan alandan yarı iletken alana ve ardından iletken alana kademeli bir şekilde geçmesi beklenir. Şekil 3'de MW-CNT dolgu malzemesinin ECN'lerin elektriksel iletkenliği üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

MW-CNT'nin kademeli olarak eklenmesi ile elektriksel iletkenliği önce yavaş bir şekilde ardından keskin bir şekilde

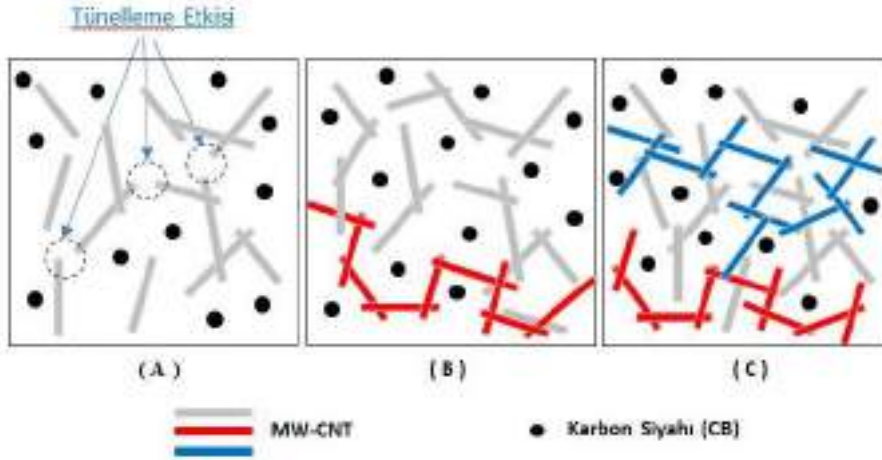
artış göstermiştir. Şekil 3'de gösterilen iletken dolgu miktarına bağlı elektriksel iletkenlik değişimi üç farklı aşamaya bölünebilir.



Şekil 3. Piezodirenç Ölçümlerinde MW-CNT dolgu malzemesinin ECN'lerin elektriksel iletkenliği üzerindeki etkisi

Ağırlıkça %0.3 ile 2.06 arası birinci bölge olarak tanımlanan iletkenlik etkileşim başlangıcı (A), %2.06 ile 3.48 arasında süzülme eşiği olarak isimlendirilen ikinci bölge(B), %3.48 ile 5.88 arasındaki iletken ağı tam olarak oluştuğu üçüncü bölge(C) olarak tanımlayabiliriz. Bu bölgelerdeki iletken dolguların matris içerisindeki dağılımları Şekil 4'de şematik olarak gösterilmiştir. Ağırlıkça % 0.3-1.19 arasında elektriksel iletkenlik çok düşük olup lineer bir şekilde artmaktadır. Bu bölgede ECN'lerin elektriksel iletkenliği polimer matrisine yakındır. Birbirine

yakın iletken dolgu sayısı artmaktadır. Ağırlıkça %2.06 ulaşıldığında MW-CNT'ler arasında tam bir iletken yol olmamasına rağmen, iletken dolgular arasındaki tünelleme etkisi (Simmons, 1963; Rahman vd., 2012) nedeniyle elektriksel iletkenlik kademeli olarak artmaya başlamıştır. Buradaki durum nanokompozitin piezodirenç karakterizasyonu için önemlidir. Ağırlıkça %2.06 ile 2.92 arasında MW-CNT'lerin miktarı artması ile nanokompozitin elektriksel iletkenliği dikkat çekici bir şekilde artmıştır. Bu dolgu aralığında ECN'lerin iletkenliği $6.97E-09$ S/m'den 2.56 S/m'ye aniden değişmiştir. İletkenlikteki bu gözlenen sıçrama kritik dolgu malzemesinin miktarı ile ortaya çıkan süzülme eşiği ile ilişkilidir (Bauhofer vd., 2009; Perets vd., 2020; Chen vd., 2018). Belirlenen kritik dolgu malzemesi miktarı, MW-CNT'lerin boyutsal özelliklerine, en-boy oranlarına, matris içerisinde dağılımına ve hizalanma yapısına bağlıdır (Chanklin vd., 2018; Ning Hu vd., 2008; Sánchez-Romate vd., 2016). MW-CNT'lerin bu kritik miktarın üzerinde eklenmesi, kalıcı bir iletken ağı kurulmasına ve eğrinin yatay konuma gelmesi ile sonuçlanır. Ağırlıkça %3.48'den 5.88'e artırılmasıyla, ECN'lerin iletkenlikleri $4.44E+02$ ile $5.56E+03$ aralığında kalır. MW-CNT'lerin matris içerisinde rastgele hizalanması ve homojen dağılımı yüksek iletkenlik ağına sahip ve sürekli birbirine bağlanan bir dolgu ağının oluşumunu kolaylaştırır (Yang vd., 2021; Yazdani-Pedram vd., 2017). ECN'ler içerisinde süzülme eşiğine bağlı olarak iletken bir ağ oluşturmak için yeterince dolaşmış ve birbirine bağlanmış MW-CNT'ler bulunmaktadır (Şekil 1).



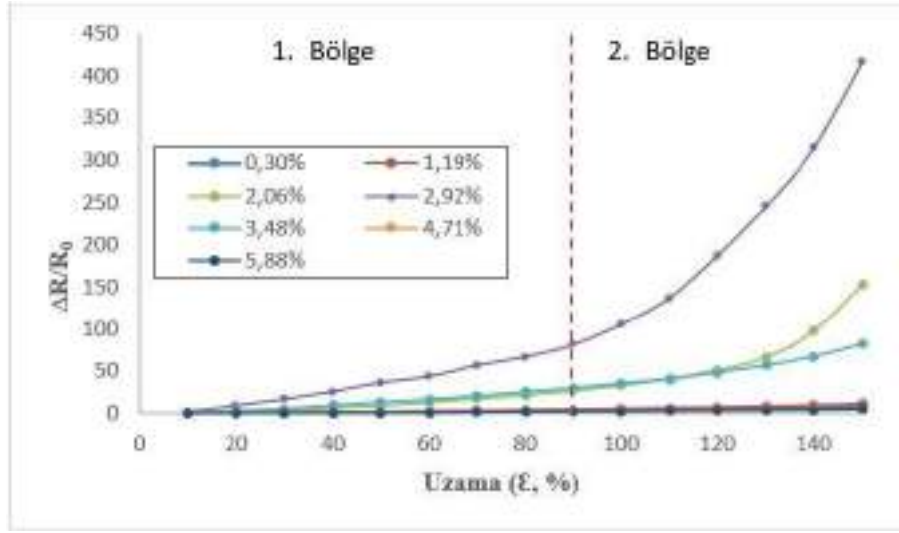
Şekil 4. ECN'lerdeki dolgu malzemelerinin süzülme eşiği davranışı

3.2. ECN Nanokompozitlerin Piezodirenç Davranışları

Elastomer esaslı nanokompozitlerin piezodirenç tepkilerini araştırmak için bir dizi çekme-uzama deneyi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'de çeşitli MW-CNT dolgu miktarları ile hazırlanan karışımlar için uygulanan yüzdesel uzamanın bir fonksiyonu olarak elde edilen piezodirenç değişimi gösterilmektedir. Uygulanan gerilim arttıkça tüm numunelerin direnci artar. Piezodirenç değişiminde meydana gelen bu durum; (i) uygulanan uzamaya bağlı olarak iletken ağı yeniden inşası (iletken yolların oluşturulması ya da yok olması), (ii) MW-CNT'ler arasındaki mesafe değişiklikleri ve (iii) karbon nanotüpler arasındaki temas noktalarının yoğunluk şeklinde üç ana mekanizma ile açıklanabilir. MW-CNT dolgu miktarına bağlı olarak numuneler farklı yanıt vermektedir. Yapılan

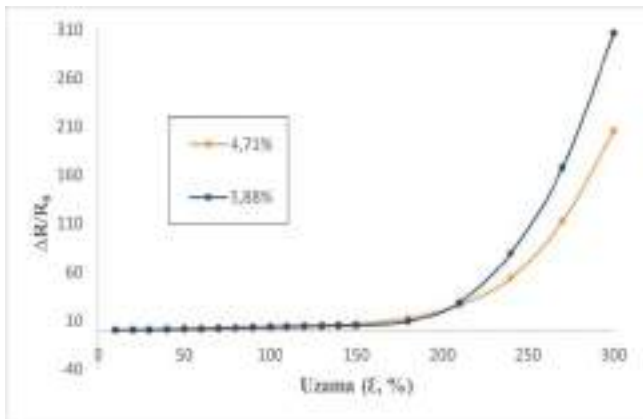
piezodirenç ölçümlerinde elde edilen grafik incelendiğinde iki farklı davranış şekli gözlemlenmektedir.

Süzülme eşiğinin oluştuğu dolgu miktarlarının çok üzerinde MW-CNT içeren nanokompozitlerin (% 3.48 , % 4.71 , % 5.88) piezodirenç yanıtı doğrusal ya da yarı doğrusaldır. Bunun yanında süzülme eşiği etrafında dolgu içeriğine sahip nanokompozitler (%2.06 , % 2.92) için uzamanın bir fonksiyonu olarak piezodirenç tepkisi doğrusal olmayan bir davranış ortaya koyar. Bu numunelerin piezodirenç davranışı kritik bir uzama seviyesine kadar doğrusal olup sonrasında üstel olarak değişir. Ağırlıkça %2.06, %2.92 ve %3.48 oranlarında MW-CNT içeren nanokompozitler için kritik yüzde uzama değeri %90 civarında tanımlanmıştır. Kritik yüzdesel uzama değerinin altındaki kısım 1.bölge olarak tanımlanırken, kritik yüzdesel uzamanın üzerindeki alan 2.bölge olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5. MW-CNT dolgu miktarları için uzamanın bir fonksiyonu olarak piezodirenç değişimi

Ağırlıkça %0.3 ve %1.19 oranında MW-CNT içeren nanokompozitler yalıtkan özelliklere sahiptirler. Bu malzemeler piezodavranış sergilemezler. Ağırlıkça %2.92 oranında MW-CNT içeren nanokompozit artan yüzdesel uzamaya bağlı olarak direnç değerinde en büyük değişikliği gösterir. %2.92 oranında iletken dolgu içeren nanokompozitin duyarlılığı ağırlıkça %3.48 oranında MW-CNT içeren nanokompozite kıyasla daha yüksektir. Bunun nedeni kümelenmiş ve dolaşık yapılar oluşturan karbon nanotüplerin daha yüksek oranda olmasından kaynaklanmaktadır. Dolgu miktarı arttıkça, matris içerisindeki MW-CNT arasındaki mesafe azalır ve topaklaşma yoğunluğu artar. Bu nedenle, daha yüksek dolgu miktarında, MW-CNT arasındaki mesafeyi artırmak ve iletken ağı yok etmek için daha yüksek yüzdesel uzama değerlerine ihtiyaç duyulur. Nanokompozitlerin süzülme eşiğinin üzerinde dolgu maddesi miktarı ile kullanılmasının avantajı, daha yüksek büyüklükteki uzamaları algılama yeteneğidir. İletken şebekeyi yok etmek için nispeten daha yüksek yüzdesel uzama değerlerine ihtiyaç olduğunu gösteren test sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Yaklaşık %300 uzama değerini, ağırlıkça %4.71 ve %5.88 dolgu oranına sahip ECN'ler algılayabilmektedir.



Şekil 6. Yüksek dolgu miktarları için uzamanın bir fonksiyonu olarak piezodirenç değişimi

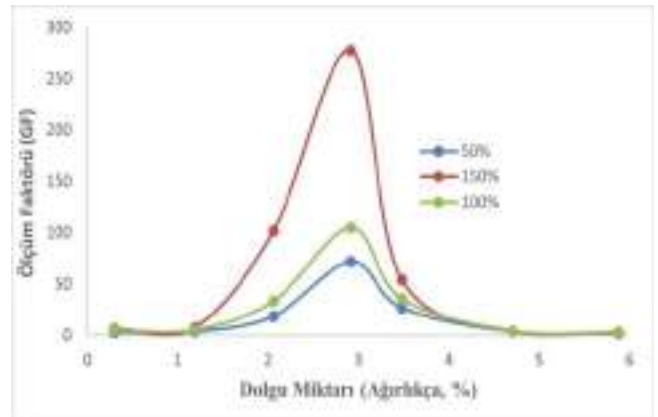
%2.92 oranında MW-CNT dolgululu karışım nispeten daha az yoğun ve dolaşık iletken ağlara sahip olduğu için düşük uzamalarda bu ağların kırılması gerçekleşmektedir. Tarif edilen iletkenlik mekanizması Şekil 4 de gösterilmiştir. Yukarıda tartışıldığı gibi, süzülme eşiğine yakın MW-CNT dolgululu

nanokompozitlerin iletkenliğine tünelleme mekanizması hâkimdir (Balberg, 1987). Piezodirençli bir malzemenin hassasiyeti, ölçüm faktörü (GF) olarak isimlendirilen ve Denklem (4) de gösterildiği şekliyle tanımlanır:

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\Delta \epsilon} \quad (4)$$

Burada, R_0 , nanokompozitin hareketsiz haldeki başlangıç direnci, ΔR , direnç değişimi ve $\Delta \epsilon$ yüzdesel uzama miktarındaki değişimdir.

Şekil 7, ECN'lere yapılan piezodirenç değişim testlerinden elde edilen eğrilerin eğimi olarak tanımlanan ölçüm faktörünü (GF) gösterir. Nanokompozit için en yüksek piezodirenç duyarlılığı, süzülme eşiğinin hemen üzerinde bir MW-CNT dolgu miktarları içeren numuneler için elde edilmiştir. Ağırlıkça %2.92 MW-CNT içeren ECN'nin %100'lik bir uzama seviyesi için yaklaşık 105 birimlik bir ölçüm faktörü göstermiştir. MW-CNT miktarı süzülme eşiğinden uzaklaştıkça, ölçüm faktörünün de büyük ölçüde azaldığı görülmektedir. Bu nedenle yüksek dolgu miktarına sahip nanokompozit numunelerin daha az hassas olmasına bağlı olarak ağırlıkça %2.92 oranında (elektriksel süzülme eşiğinin biraz üstünde) numuneler seçilerek, zamana bağlı tekrarlı sensör testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. %50, %100 ve %150 uzamalarda ölçüm faktörleri (GF)

Ölçüm faktörü grafiği dikkatlice incelendiğinde ağırlıkça MW-CNT miktarlarındaki küçük bir değişikliğin, uygulanan uzama miktarına bağlı olarak matris içerisindeki dağılım kalitesinden dolayı piezodirenç davranışlarında ciddi değişikliklere neden olabileceği düşünülmüştür.

MW-CNT ağının piezodirenç davranışı, matris içerisindeki boyutsal değişikliklere bağlı direnç $R_{M/b}$, karbon nanotüpler arasındaki mesafeden kaynaklı tünelleme direnci $R_{MW-CNT/t}$, karbon nanotüpler arasındaki temas ve içsel dirençlerine bağlı olarak karmaşık bir etkileşim şeklinde tarifleyebiliriz (Meguid vd., 2019). Nanokompozit içerisinde direnç değişikliğinde etkin olan bu parametreleri göz önünde bulundurduğumuz zaman Denklem (3) ile verilen piezodirenç değişimini Denklem (5)'deki gibi toplam direnç değişimi olarak tanımlayabiliriz.

$$\frac{R-R_0}{R_0} \approx \frac{R_{Mb}-R_{Mb0}}{R_{Mb0}} + k \cdot \frac{R_{MW-CNT/t}-R_{MW-CNT/t0}}{R_{MW-CNT/t0}} \quad (5)$$

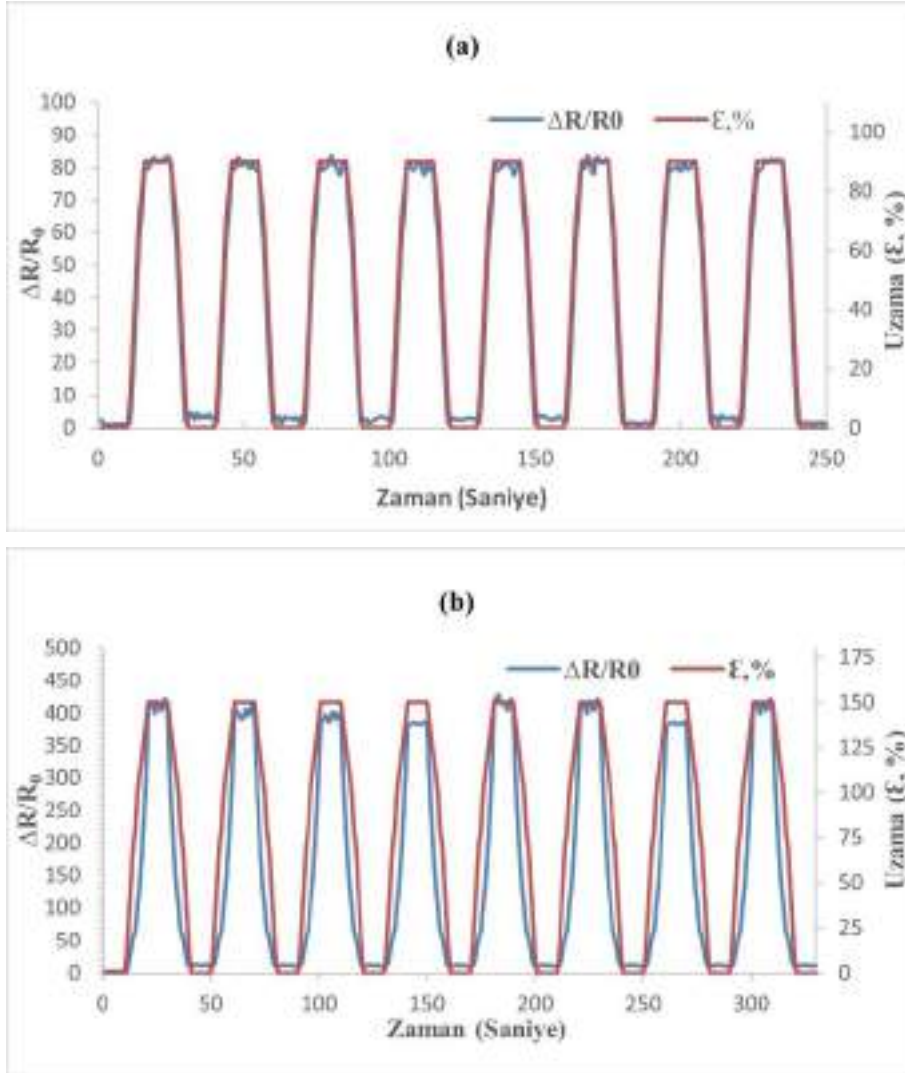
Denklem (5)'de verilen k, katsayısını nanaotüpler arasındaki tünelleme direncinin, matris içerisindeki boyutsal değişikliklere bağlı direnç değişimine oranı olarak Denklem (6)'daki şekildedir.

$$k = \frac{R_{MW-CNT/t0}}{R_{Mb}} \quad (6)$$

Nanotüpler arasındaki tünelleme direnci, nanotüpler arasındaki ayırımın bir fonksiyonu olarak üstel olarak değişir. Bu nedenle, temas geometrisindeki küçük değişiklikler, büyük direnç değişikliklerine neden olabilir (Das vd., 2017; Xu vd.,2013).

3.3. Tekrarlı Yüklemeler Altında ECN'lerin Piezodirenç Davranışları

Ağırlıkça %2.92 oranında MW-CNT dolgu nanokompozitlerin piezodirenç değişim testleri, zamanın bir fonksiyonu olarak %90 ve %150 uzama seviyelerinde sekiz çevrim şeklinde ölçülmüştür. Nanokompozite ait piezodirenç tekrarlanabilirliğine ait çevrimli yüklemeye grafikleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Kritik uzama seviyesi %90'a kadar elde edilen çevrimli yüklemeye grafikleri şekil 8a'da, %150'ye kadar elde edilen çevrimli yüklemeye grafikleri şekil 8b'de gösterilmiştir. Çekme gerilmesi uygulandığında direnç artar ve gerilme gevşemesi altında azalır (Kasim vd., 2021; Kalantari vd., 2012).



Şekil 8. (a) %90 ve (b) %150 arasındaki tekrarlı yüklemeye/boşaltma testleri için ağırlıkça %2,92 oranında ECN'nin piezodirenç davranışı

Denklem (4) kullanılarak, ağırlıkça %2.92 MW-CNT dolgulu nanokompozitlerin ölçüm faktörü birinci bölge için yaklaşık 90 ve ikinci bölge için yaklaşık 270 olarak ölçülmüştür. Şekil 5'de sunulan statik ölçümlerle uyumlu olarak, daha yüksek bir uzama seviyelerinde (ikinci bölge) daha büyük direnç değişimleri elde edilmiştir. Ölçülen direnç değişimleri, nanokompozitin elastik deformasyonlara karşılık her iki yüzdesel uzama seviyesi için sekiz çevrim boyunca tekrarlanabilir ve tersine çevrilebilir olduğu gösterilmiştir. Bu sonuçlar, nanokompozit numunelerinin uzamaya bağlı hassas gerilim sensörleri olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

4. Sonuç

Farklı dolgu oranlarında MW-CNT'lerin elastomer malzemeler ile birleştirilmesi sonucunda elde edilen nanokompozit numunelerinin mekanik zorlamalara bağlı şekil değişikliklerinden kaynaklanan uzamaları algılama performansları araştırılmıştır. Bu tür nanokompozitlerin sensör olarak kullanılmasının avantajları, esneklikleri, üretim kolaylığı ve dikkat çekici hassasiyetleridir. Hazırlanan numuneler üzerinde yapılan yüklemeye bağlı uzamanın algılanması için piezodirenç testlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. İletken dolgu maddelerinin polimer malzemelere dâhil edilmesiyle elde edilen nanokompozitler elektronik uygulamalar için büyük potansiyele sahiptirler. MW-CNT'nin kademeli olarak eklenmesi ile elektriksel iletkenliği önce yavaş bir şekilde ardından keskin bir şekilde artış göstermiştir.
2. Ağırlıkça % 0.3-1.19 arasında elektriksel iletkenlik çok düşük, neredeyse yalıtkan bir malzeme gibi davranmaktadır. MW-CNT miktarı arttıkça birbirine bağlanan bazı iletken kümeler kademeli olarak oluşmaktadır.
3. Ağırlıkça %2.06 ulaşıldığında MW-CNT'ler arasında tam bir iletken yol olmamasına rağmen, iletken dolgular arasındaki tünelleme etkisi sayesinde elektriksel iletkenlik kademeli olarak artmaya başlamıştır.
4. Ağırlıkça %2.06 ile 2.92 arasında MW-CNT'lerin miktarı artması ile nanokompozitin elektriksel iletkenliği dikkat çekici bir şekilde artmıştır. Bu dolgu aralığında ECN'lerin iletkenliği $6.97E-09$ S/m'den 2.56 S/m'ye aniden değişmiştir. Nanokompozit numunesindeki süzülme eşiği bu dolgu aralığında gerçekleşmiştir.
5. Ağırlıkça %3.48'den 5.88 'e artırılmasıyla, ECN'lerin iletkenlikleri $4.44E+02$ ile $5.56E+03$ şeklinde değişmiş olup neredeyse iletken bir malzeme gibi davranmışlardır.
6. Ağırlıkça %0.3 ve %1.19 oranında MW-CNT içeren nanokompozitler yalıtkan özelliklere sahip olup piezodavranış sergilemezler.
7. Süzülme eşiği etrafında dolgu içeriğine sahip nanokompozitler (%2.06 , % 2.92) için uzamanın bir fonksiyonu olarak piezodirenç tepkisi doğrusal olmayan bir davranış ortaya koyar. Bu numunelerin piezodirenç davranışı kritik bir uzama seviyesine kadar doğrusal olup sonrasında üstel olarak değişir. Süzülme eşiği etrafında dolgu içeren nanokompozitler için kritik yüzde uzama değeri %90 civarında tanımlanmıştır.
8. Ağırlıkça %3.48 dolgu oranının üzerindeki nanokompozitlerde iletken şebekeyi yok etmek için nispeten daha yüksek yüzdesel uzama değerlerine ihtiyaç olduğu tespit edilmiş olup %300 uzama değerine kadar algılanabilmektedir.

9. Ağırlıkça %2.92 MW-CNT içeren ECN'nin %100'lik bir uzama seviyesi için yaklaşık 105 birimlik bir ölçüm faktörü göstermiştir. MW-CNT miktarı süzülme eşiğinden uzaklaştıkça, ölçüm faktörünün de büyük ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.
10. Ağırlıkça %2.92 oranında MW-CNT içeren nanokompozitlere yapılan tekrarlı testlerde ölçülen direnç değişimleri, nanokompozitin elastik deformasyonlara karşılık %90 ve %150 oranındaki uzama seviyeleri için tekrarlanabilir ve tersine çevrilebilir olduğu görülmüş olup, uzamaya bağlı hassas gerilim sensörleri olarak kullanılabilceğini görülmüştür.

5. Teşekkür

Yapılan çalışmalarda laboratuvar olanaklarından yararlanmamızı sağlayan Pega Otomotiv A.Ş. firmasına teşekkür ederim.

Kaynakça

- Shivashankar P., Gopalakrishnan S. (2020). Review on the use of piezoelectric materials for active vibration, noise, and flow control. *Smart Materials and Structures*, 29(5), 053001.
- Kang I., Schulz M.J., Kim J.H., Shanov V., Shi D. (2006). A carbon nanotube strain sensor for structural health monitoring. *Smart Materials and Structures*, 15(3), 737-748.
- Xu, T., Qiu, Q., Lu, S., Ma, K., & Wang, X. (2019). Multi-direction health monitoring with carbon nanotube film strain sensor. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(2).
- Qureshi, E.M., Shen, X., & Chang, L. (2015). A Low Frequency Vibration Control by Synchronized Switching on Negative Capacitance and Voltage Sources. *International Journal of Control and Automation*, 8(6), 121-138.
- Shihong Xu. & Fan, Zeng & Li, Chengwei & Wang, Peng & Sammed, Khan & Pan, Lujun. (2019). Investigation of strain sensing mechanisms on the ultra-thin carbon nanotube networks with different densities. *Carbon*. 155, 421-431.
- Kanoun, O., Bouhamed, A., Ramalingame, R., Bautista-Quijano, J. R., Rajendran, D., & Al-Hamry, A. (2021). Review on Conductive Polymer/CNTs Nanocomposites Based Flexible and Stretchable Strain and Pressure Sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(2), 341.
- Shimada, K., & Saga, N. (2017). Development of a Hybrid Piezo Natural Rubber Piezoelectricity and Piezoresistivity Sensor with Magnetic Clusters Made by Electric and Magnetic Field Assistance and Filling with Magnetic Compound Fluid. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(2), 346.
- Wang, X., Wang, S. & Chung, D.D.L. (1999). Sensing damage in carbon fiber and its polymer-matrix and carbon-matrix composites by electrical resistance measurement. *Journal of Materials Science* 34(11), 2703–2713.
- Kim, K. & Tia, Mang & Greene, J.(2017). Performance Characteristics of Fiber-Optic Strain Sensors as Compared With Electrical Resistance and Vibrating Wire Strain Gauges. *Journal of Testing and Evaluation*. 45(6), 20160281.
- Avilés, F., May-Pat, A., Canché-Escamilla, G., Rodríguez-Uicab, O., Ku-Herrera, J. J., Duarte-Aranda, S., Uribe-Calderon, J., Gonzalez-Chi, P. I., Arronche, L., & La Saponara, V. (2016). Influence of carbon nanotube on the

- piezoresistive behavior of multiwall carbon nanotube/polymer composites. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 27(1), 92–103.
- Chen W., Li F., Ooi P.C., Ye Y., Kim T.W., Guo T. (2016). Room temperature pH-dependent ammonia gas sensors using graphene quantum dots. *Sensors Actuators B: Chemical*, 222, 763–768.
- Alamusi, Hu, N., Fukunaga, H., Atobe, S., Liu, Y., & Li, J. (2011). Piezoresistive strain sensors made from carbon nanotubes based polymer nanocomposites. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 11(11), 10691–10723.
- Oliva-Avilés A., Avilés F., Sosa V. (2011). Electrical and piezoresistive properties of multi-walled carbon nanotube/polymer composite films aligned by anelectric field. *Carbon*, 49(9), 2989–2997.
- Wichmann M.H.G., Buschhorn S.T., Gehrman, J., Schulte, K.(2009). Piezoresistive response of epoxy composites with carbon nanoparticles under tensile load. *Physical Review B*, 80(24), 245437.
- Kim Y.J., Cha J.Y., Ham H., Huh H., So D.S., Kang I. (2011). Preparation of piezoresistive nano smart hybrid material based on graphene, *Current Applied Physics*, 11(1), 350-S352.
- Meeuw H., Viets C., Liebig W., Schulte K., Fiedler B. (2016). Morphological influence of carbon nanofillers on the piezoresistive response of carbon nanoparticle/epoxy composites under mechanical load. *European Polymer Journal*, 85, 198-210.
- Yazıcı M., Kapucu O.A., Kasım H., Can Y. (2017). Experimental Investigation on Fatigue Life of Cord-Rubber Composites. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Aralık Özel Sayı*, 90,16-21
- Santos A., Amorim L., Nunes J., Rocha L., Silva A.F., Viana, J.(2019). Aligned carbon nanotube based sensors for strain sensing applications. *Sensors and Actuators A-physical*, 289, 157-164.
- Spinelli G., Lamberti P., Tucci V., Vertuccio L., Guadagno L. (2018). Experimental and theoretical study on piezoresistive properties of a structural resin reinforced with carbon nanotubes for strain sensing and damage monitoring. *Composites Part B-engineering*, 145, 90-99.
- Yin, G., Hu, N., Karube, Y., Liu, Y., Li, Y., & Fukunaga, H. (2011). A carbon nanotube/polymer strain sensor with linear and anti-symmetric piezoresistivity. *Journal of Composite Materials*, 45(12), 1315–1323.
- Bokobza, L. (2012). Multiwall carbon nanotube-filled natural rubber: electrical and Mechanical Properties. *Express Polymer Letters*. 6(3), 213-223.
- Qingliang He., Yuan T., Zhang X., Guo S., Liu J., Liu J.,Liu X., Sun L., Wei S., Guo Z. (2014). Heavy duty piezoresistivity induced strain sensing natural rubber/carbon black nanocomposites reinforced with different carbon nanofillers. *Materials Research Express*, 1(3), 035029.
- Chen L., Chen G., Lu L. (2007). Piezoresistive behavior study on finger sensing silicone rubber/graphite nanosheet nanocomposites, *Advanced Functional Materials*, 17(6), 898–904.
- Wang P., Geng S., Ding T. (2010). Effects of carboxyl radical on electrical resistance of multi-walled carbon nanotube filled silicone rubber composite under pressure. *Composite Science and Technology*, 70(10), 1571–1573.
- Gao L., Chou T.W., Thostenson E.T., Zhang Z., Coulaud M. (2011). In situ sensing of impact damage in epoxy/glass fiber composites using percolating carbonnanotube networks. *Carbon*, 49(10), 3382–3385.
- Zhang, Xiang-Wu & Pan, yi & Yi, Xiaosu. (2000). Time dependence of piezoresistance for the conductor-filled polymer composites. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*. 38(21), 2739 – 2749.
- Wang L., Ding T. H., Wang P. (2009). Influence of carbon black concentration on piezoresistivity for carbon-black-filled silicone rubber composite. *Carbon*, 47(14), 3151–3157.
- Knite M., Teteris V., Kiploka A., Kaupuzs J. (2004). Polyisoprene–carbon black nanocomposites as tensile strain and pressure sensor materials. *Sensors and Actuators A: Physical*, 110(1–3), 142–149.
- Chervanyov A.I.,Selvan N.T., Eshwaran S.B., Das A., Stöckelhuber K.W., Wießner S., Pötschke P., Nando G.B, Heinrich G. (2016). Piezoresistive natural rubber-multiwall carbon nanotube nanocomposite for sensor applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, 239, 102-113.
- Peng Z., Feng C., Luo Y., Li Y., Kong L. (2010). Self-assembled natural rubber/multi-walled carbon nanotube composites using latex compounding techniques. *Carbon*, 48(15), 4497-4503.
- Simmons J.G. (1963). Electric tunnel effect between dissimilar electrodes separated by a thin insulating film. *Journal of Applied Physics*, 34(9), 2581-2590.
- Rahman R., Servati P. (2012). Effects of inter-tube distance and alignment on tunnelling resistance and strain sensitivity of nanotube/polymer composite films. *Nanotechnology*, 23(5), 055703.
- Bauhofer, W.; Kovacs, J.Z. (2009). A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites. *Composite Science and Technology*, 69(10), 1486-1498.
- Perets Y.S., Lazarenko O., Sivoloshsky O.A., Vovchenko L., Matzui L. (2020). Percolation characteristics of multi-polymer composites with different ratios of nanocarbon fillers. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 699(1), 97-110
- Chen J., Yan L. (2018). Effect of Carbon Nanotube Aspect Ratio on the Thermal and Electrical Properties of Epoxy Nanocomposites. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 26(11), 697–704.
- Chanklin W., Laowongkot J., Chibante L.P. (2018). Electrical property validation of percolation modeling in different polymer structures of carbon-based nanocomposites. *Materials today Communications*, 17, 153-160.
- Hu N., Masuda Z., Yan C., Yamamoto G., Fukunaga H., Hashida T. (2008). The electrical properties of polymer nanocomposites with carbon nanotube fillers. *Nanotechnology*, 19(21), 215701.
- Sánchez-Romate X.F., Jiménez-Suárez A., Sánchez M., Güemes A., Ureña A. (2016). Novel approach to percolation threshold on electrical conductivity of carbon nanotube reinforced nanocomposites. *RSC Advances*, 6(49), 43418-43428.
- Yang W., Ke K., Yue L., Shao H., Yang M., Manas-Zloczower I.(2021). Boosting Electrical and Piezoresistive Properties of Polymer Nanocomposites via Hybrid Carbon Fillers: A Review. *Carbon*. 173, 1020-104.
- Yazdani-Pedram M., Aguilar-Bolados H., Contreras-Cid A., López-Manchado M.A., May-Pat A., Avilés F.(2017). Influence of the morphology of carbon nanostructures on the

- piezoresistivity of hybrid natural rubber nanocomposites. *Composites Part B-engineering*, 109, 147-154.
- Balberg I. (1987). Tunneling and nonuniversal conductivity in composite materials. *Phys. Rev. Lett.* 59(12), 1305–1308.
- Meguid S., Alian A. (2019). Multiscale modeling of the coupled electromechanical behavior of multifunctional nanocomposites. *Composite Structures*, 208, 826-835.
- Das, A., Natarajan T.S., Eshwaran S., Stöckelhuber K.W., Wießner S., Pötschke P., Heinrich G. (2017). Strong Strain Sensing Performance of Natural Rubber Nanocomposites. *ACS applied materials & interfaces*, 9(5), 4860-4872.
- Xu W., Allen M. (2013). Deformable Strain Sensors Based on Patterned MWCNTs/ Polydimethylsiloxane Composites. *Journal of Polymer Science Part B*, 51(20), 1505-1512.
- Kasım H., Demir, B. (2021). Investigation of electrical properties of hybrid nanocomposites containing different fillers on pressure sensor applications under different loading. *Journal of Composite Materials*.
- Kalantari M., Dargahi J., Kövecses J., Mardasi M.G., Nouri, S. (2012). A New Approach for Modeling Piezoresistive Force Sensors Based on Semiconductive Polymer Composites. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 17(3), 572-581.



Havacılık Nöroergonomisinde Optik Beyin Görüntüleme Uygulamaları

Murat Perit Çakır^{1,2*}

^{1*} Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Enformatik Enstitüsü, Bilişsel Bilimler Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4295-1245), perit@metu.edu.tr

² ODTÜ-TSK Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi, Ankara, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 19 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.919993)

ATIF/REFERENCE: Çakır, M.P. (2021). Havacılık Nöroergonomisinde Optik Beyin Görüntüleme Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 380-391.

Öz

Pilotların, insansız hava aracı operatörlerinin, hava trafik kontrolörlerinin eğitim ve uçuş faaliyetleri sırasında bilişsel durumlarının takibini sağlayacak nesnel yöntemlerin geliştirilmesi uçuş emniyetinin sağlanması, eğitim süreçlerinin optimizasyonu ve yenilikçi insan-makine arayüzlerinin tasarımı bakımından kritik önem taşımaktadır. İşlevsel Yakın-Kızılötesi Tayfölçümü (functional near infrared spectroscopy – fNIRS) optik beyin görüntüleme teknolojisi gibi saha kullanımına uygun, portatif ve güvenilir nörofizyolojik ölçüm yöntemleri bu ihtiyaçlara yönelik bazı önemli avantajlar sunmaktadır. Bu derlemede fNIRS teknolojisinin dayandığı bilimsel temeller ve bu teknolojiyle gerçekleştirilmiş pilot/operatör bilişsel işyükü takibi, kontrol arayüzü değerlendirmesi, G-LoC/hipoksi kestirimi gibi öncü havacılık uygulamalarından örnekler sunularak fNIRS yönteminin havacılık tıbbi ve ergonomisi alanları için sunduğu imkanların özetlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nöroergonomi, Optik Beyin Görüntüleme, İşlevsel Kızıl-ötesi Tayfölçümü, Havacılık Tıbbi, Havacılık Psikolojisi.

Applications of Optical Brain Imaging Methods in Aviation Neuroergonomics

Abstract

The development of objective methods that enable monitoring of the cognitive status of pilots, unmanned aerial vehicle operators, and air traffic controllers is critically important in aviation for improving flight safety, optimizing pilot/operator training and developing innovative man-machine interfaces. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) optical brain imaging technology offers significant advantages for this purpose by providing portable, rugged sensors that can be employed in the field to monitor neurophysiological markers during flight operations. This article reviews studies that employ fNIRS technology for cognitive workload assessment, operator interface evaluation, and G-LoC/hypoxia prediction in aviation to document the potential of neurophysiological measurement modalities like fNIRS for aviation medicine and ergonomics.

Keywords: Neuroergonomics, Optical Brain Imaging, Functional Near-infrared Spectroscopy, Aviation Medicine, Aviation Psychology.

* Sorumlu Yazar: perit@metu.edu.tr

1. Giriş

Sensör teknolojilerinde yakın zamanda kaydedilen gelişmeler, nörofizyolojik verilerin sahada gerçek zamanlı olarak işlenerek insan-makine etkileşiminin optimizasyonuna yönelik yenilikçi uygulamaların geliştirilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Giyilebilir, invazif olmayan, hafif, kablosuz arayüzler üzerinden veri toplanmasına olanak sağlayan yeni nesil sensörler göz izi, kalp atışı, nefes sıklığı, deri iletkenliği gibi fizyolojik belirteçlerin yanı sıra optik beyin görüntüleme ve elektroensefalografi yöntemleri aracılığıyla beyin işlevlerinin de sahada izlenmesine imkân vermektedir. Bu teknolojilerin havacılık özelinde pilot, İHA operatörü veya hava trafik kontrolörü gibi son kullanıcıların fizyolojik verileri üzerinden bilişsel durumlarına yönelik çıkarımların hem eğitim hem de görev sırasında yapılabilmesine olanak vermesi, bu teknolojilere gösterilen ilginin son yıllarda artmasına ve nöroergonomi gibi yeni araştırma alanlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Parasuraman ve Rizzo, 2008; Ayaz vd., 2013; Ayaz ve Dehais, 2019).

Havacılıkta ilk bakışta artan otomasyonla birlikte insan faktörlerinin önemi azalmış gibi görünse de gelişen teknolojiyle birlikte hava aracı sayısı ve çeşitliliğinde gözlenen artış hava operasyonlarının karmaşıklığını da arttırmaktadır. Pilot ve yer operatörlerinin görev sırasındaki bilişsel durumları ve görev hazırlık aşamasında aldıkları eğitim havacılık güvenliği için belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu tür kritik süreçlerde nörofizyolojik belirteçlerde gerçekleşen değişimlerin anlamlandırılarak operatörlerin bilişsel durumlarına yönelik sağlıklı çıkarımların yapılabilmesi, eğitim süreçlerinin kişiselleştirilerek optimize edilmesi, görev sırasında oluşabilecek bilinç kaybı, aşırı iş yükü gibi durumların kestirimi gibi uçuş güvenliğine tesiri olacak yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesi konusunda önemli fırsatlar sunmaktadır (Ayaz vd., 2012; Çakır vd., 2016).

Bu makalede son dönemde nöroergonomi uygulamalarında sıklıkla kullanılmaya başlanan fNIRS yöntemiyle beyin işlevlerinin takip edildiği havacılık uygulamalarını içeren çalışmaların bir derlemesi sunulmaktadır. Bu amaçla öncelikle pilot/operatör performansıyla ilişkilendirilen bilişsel süreçlerin kısa bir özeti verilmiş, bu süreçlerin izlenmesi için kullanılan nörofizyolojik yöntemlerle ilgili literatürdeki ana bulgular özetlenmiştir. Sonraki kısımda mevcut yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sunan fNIRS yönteminin dayandığı fiziksel /fizyolojik prensipler detaylandırılmış ve fNIRS teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon eğitimi ve bilişsel iş yükü takibi uygulamaları ile hava trafik kontrol arayüzü değerlendirmesi çalışmalarının bulguları özetlenmiştir. Ayrıca fNIRS kullanılarak kokpit içerisinde yapılmış bilişsel işyükü takibi ve hipoksi/G-LoC kestirimi gibi uygulamalardan da örnekler sunulmuştur. Son olarak fNIRS gibi nörofizyolojik ölçümlerin havacılık tıbbi ve ergonomisi çalışmaları için sunmakta olduğu imkanlar hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Havacılıkta Performansı Etkileyen Bilişsel Süreçler

Havacılıkta insan faktörleri literatüründe pilot/operatör performansı üzerinde belirleyici rol oynayan temel bilişsel süreçler bilişsel işyükü (İng. cognitive workload), durumsal

farkındalık (İng. situational awareness), bölünmüş dikkat (İng. divided attention), zihinsel bitkinlik, işgörememezlik (İng. mental fatigue, incapacitation), vijilans/tetiklik (İng. vigilance) ve yorgunluk/sersemlik (İng. drowsiness) gibi kavramlarla ifade edilmektedir (Wickens, 2008; 2014). Havacılık ve bilişim teknolojisindeki ilerlemeler pilotların ve operatörlerin üzerindeki iş yükünü azaltmak amacıyla tasarlanmış pek çok sistem bileşeninin ve kontrol arayüzünün geliştirilmesini sağlamıştır. Ancak havacılık sisteminde yer alan aktörlere halen önemli görevler düşmektedir (Parasuraman ve Wickens, 2008). Örneğin, pilotlardan uçuş sırasında tetikte kalarak durumsal farkındalıklarını sürdürmeleri, sorunları/arızaları zamanında fark ederek çözüm için gerekli kararları vermeleri ve ilgili prosedürleri uygulamaları beklenmektedir. Hava trafik kontrolörleri veya İHA faydalı yük operatörleri özelinde ise operatörlerin belirlenen hava araçları veya hedefleri takip etmeleri ve tetikte kalmaları beklenmektedir. Uluslararası Sivil Havacılık Kurumu'nun (ICAO) yayınladığı kaza/kırım istatistikleri incelendiğinde, irili ufaklı tüm kazaların %26'sında pilotun bilişsel durumuna etki eden faktörlerin başlıca etken olduğu görülmektedir (ICAO, 2014). Bu oran ölümlü kazalar dikkate alındığında daha da artmaktadır. Dolayısıyla, pilotların bilişsel durumlarını güvenilir olarak izleyebilen sistemlerin geliştirilmesi, eğitim prosedürlerinin etkililiğinin artırılması ve bu tür kazaların önüne geçilmesi bakımından havacılığa önemli katkılar yapma potansiyeline sahiptir.

Simülasyonlar pilotlara ve operatörlere görev sırasında kullanacakları arayüzleri gerçekçi fakat hata yapmaya müsait bir ortamda kullanma imkânı tanıdığı için modern havacılık eğitiminde kritik bir rol üstlenmektedir. Uçuş simülasyonları pilot adaylarının uçuş kontrolleri üzerinde zamanla uzmanlaşarak gerçek uçuşa hazırlanmalarına, tecrübeli pilotların ise sanal uçuşlar gerçekleştirerek uçuş prosedürleri konusundaki bilgi ve becerilerini taze tutmalarına yardımcı olmaktadır. Hava trafik kontrol simülasyonları ise sahada görev almadan operatörlerin iş akışına aşına olmalarına ve birden fazla işi koordine etme konusunda eğitim yapmalarına olanak vermektedir. Buna ek olarak, simülasyonlar gerçek görev sırasında test edilmesi mümkün olmayan, ancak karşılaşılabilecek muhtemel olan tehlike durumlarında yapılması gereken işlemlere yönelik eğitimlerin güvenle ve düşük maliyetle yapılmasına olanak sağlamaktadır. Son olarak, arayüz ve aviyonik tasarım alternatiflerinin seri üretime geçilmeden önce deneklerle bu ortamlarda denenerek kullanılabilirlik analizlerinin yapılabilmesi, simülasyonların sunduğu bir diğer önemli imkândır.

Simülasyon ortamında havacılık performansında kritik rol oynayan bilişsel süreçlere yönelik yapılan değerlendirmeler ağırlıklı olarak davranışsal veriler üzerinden yapılmaktadır. Bu veriler genellikle (a) uçuş senaryosunun eğitmen pilot tarafından durdurularak pilotun mevcut durum hakkındaki farkındalık düzeyini sınamak amacıyla yöneltilen sorulara verilen yanıtların doğruluk oranına, (b) kaydedilen uçuş bilgilerinin ideal bir performans modelinden sapma miktarına veya (c) sanal görev sonrası pilotun NASA Task Load Index (TLX) gibi bir anket yardımıyla görev sırasında ne derece zorlandığına dair yaptığı öznel değerlendirmelere dayanmaktadır.

Simülasyon eğitimi üzerine yapılan çalışmalar bu ortamlarda edinilen becerilerin gerçek görev deneyimine güçlü yansımaları olduğunu göstermekle beraber, literatürde bu eğitimin etkililiğini arttırmaya yönelik yenilikçi yaklaşımlara ihtiyaç olduğu ifade edilmektedir (Hays vd., 1992; Salas vd., 1998; Dahlstrom vd., 2008). Davranışsal verilere dayalı değerlendirmelerin sahip

olduğu dezavantajlar bu arayışın altında yatan ana nedenlerden bir tanesidir. Örneğin pilotların rutin uçuş görevine ek olarak mental aritmetik gibi ikinci bir görevi de idame ettirmeleri gereken bir deneysel görev senaryosunda bazı pilotların performansında daha sert düşüşlerin gözlenmesi, ancak bu pilotların normal uçuş görevini icra ederken ki performanslarının diğer pilotlardan ayırt edilemeyecek kadar benzer olması, pilotların beceri düzeylerine bağlı olarak mental işyükü kapasiteleri bakımından farklılaşabildiğini göstermiştir (Yeh ve Wickens, 1988). Bu tür çalışmalar sonucunda, aynı görevin deneyimli pilotlar ve yeni pilotlar üzerinde değişik seviyelerde bilişsel işyükü oluşturabildiği, bir görevi icra ederken kapasitesinin tamamına yakınına yakınını kullanmak durumunda olan pilotun o an gerçekleşen acil bir durum karşısında geç tepki verebildiği, zamanla artan uçuş deneyimi ve alınan eğitimle birlikte ilgili bilişsel kapasitenin de artması neticesinde bu gibi durumlara başa çıkmanın pilotlar için daha kolay hale gelebildiği gözlenmiştir (Borghini vd., 2011). Davranışsal verilerden tespit edilmesi zor olan bu tür durumlar pilotların bilişsel işyükü kapasiteleri hakkında daha sağlıklı yorum yapılmasına imkân verecek yöntemlerin araştırılmasını teşvik etmiştir. Bu bakımdan, literatürde özellikle pilotun bilişsel durumunun daha nesnel yöntemlerle takip edilmesini sağlayan ölçme yöntemlerine olan ilginin artmakta olduğu görülmektedir (Borghini vd., 2014).

3. Havacılıkta Nörofizyoloji Uygulamaları

Pilotların/Operatörlerin bilişsel durumlarının izlenmesinde nesnel yöntemlere duyulan ihtiyaca karşılık vermek amacıyla yürütülen araştırmaların önemli bir kısmı, bu süreçlerle ilişkili olduğu düşünülen nörofizyolojik verilerin işlenerek kullanılmasını ve eğitim sürecinin bir parçası haline getirilmesini hedeflemektedir. Bu alanda yapılan öncü çalışmalar elektroensefalografi (EEG), elektro-kardiyogram (EKG), elektro-okulogram (EOG), elektromyogram (EMG) ve elektro-dermal tepki ölçümü (GSR/EDR) gibi yöntemler kullanarak beyin dalgalarının salınımı, kalp atış hızı, göz kırpması sıklığı, göz bebeğinin büyümesi, göz odaklanması, kas hareketleri ve deri iletkenliği değişimi gibi pek çok nörofizyolojik parametrenin pilotun/operatörün bilişsel durumu ile nasıl bir ilişkisi olduğunu araştırmaktadır (De Rivecourt vd., 2008; Haarman vd., 2009; van Dijk vd., 2011; Wilson, 2002; Wilson vd., 2007). Elde edilen bulgular bu veriler üzerine kurgulanan istatistiksel modeller ve örüntü tanıma algoritmaları yardımıyla, pilotun simülasyon eğitimi sırasında bilişsel durumunda gerçekleşen değişikliklerin takip edilmesinin mümkün olduğuna işaret etmektedir (Wilson ve Russel, 2007).

Havacılık açısından kritik öneme sahip bilişsel süreçlerin nörofizyolojik izdüşümleri literatürde ağırlıklı olarak EEG, EKG, EMG, EOG ve GSR verileriyle incelenmiştir. Bu algılayıcılar beyin işlevlerine odaklanan, direk yöntemler (EEG) ve sinir sisteminin vücutta yarattığı fizyolojik etkileri takip eden, dolaylı yöntemler (EKG, EMG, EOG ve GSR) olmak üzere iki ana grupta ele alınabilir. Dolaylı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarda pilotun iş yükünde artış olduğu durumlarda kalp atış hızında artma, göz kırpması sıklığında ve uzunluğunda azalma, göz odaklanmasında artma gibi değişiklikler olduğu gözlenmiştir (Borghini vd., 2014). Fakat bu ölçümleri bilişsel işyükünden bağımsız olarak benzer şekillerde etkileyen faktörlerin var olması, pilotun bilişsel durumuna yönelik çıkarımların tek bir algılayıcı aracılığıyla yapılmasını zorlaştırmaktadır. Örneğin kokpit içerisindeki ışık miktarındaki

değişim ve göstergelerden yayılan ışık, göz bebeği büyüklüğü ve göz kırpması sıklığı gibi değişkenleri bilişsel işyükünün yarattığı değişikliklere benzer bir şekilde etkileyebilmektedir (De Rivecourt vd., 2008). Benzer bir şekilde kalp atış hızı değerleri de nefes alma hızı, kaygı, kas yorgunluğu gibi bilişsel işyükü kaynaklı olmayan nedenlerle benzer bir değişim gösterebilmektedir. Salt fizyolojik parametrelere dayanarak pilotun bilişsel durumuna yönelik güçlü bir çıkarım yapmanın zorluğu dolayısıyla, güvenilirliği arttırmak adına bu tür fizyolojik bilgilerin beyin kaynaklı bilgilerle bir arada ele alındığı yöntemler literatürde son zamanlarda öne çıkmaya başlamıştır.

Havacılık uygulamalarında pilotun/operatörün beyin işlevlerine odaklanan yöntemler ağırlıklı olarak EEG teknolojisini kullanmaktadır. EEG nöron gruplarının elektriksel faaliyetleri nedeniyle kafa derisi üzerine konumlandırılmış elektrotlarda oluşan düşük seviyeli elektrik potansiyel değişimlerini ölçen bir yöntemdir. Simülasyon ortamında yapılan çalışmalar dikkat dağılmasına bağlı olarak performansın düştüğü durumlarda theta bandındaki güç dağılımında bir azalma ve alpha bandındaki dağılımda değişim olduğunu, görev koşullarının zorlaşmasına bağlı olarak dikkatin odaklandığı durumlarda ise ön-orta ve tepe-orta bölgedeki elektrotlardan izlenen theta bandında güç artışı olduğunu göstermiştir (Dussault vd., 2005; Borghini vd., 2011; Borghini vd., 2014). EEG yöntemindeki temel zorluk elektrotların iletkenliklerinin devamlının sağlanması ve elektromanyetik etkilerden korunmasıdır. Yüksek kalitede veri toplanabilmesi özel jellerin kullanılmasını ve zahmetli bir sensör yerleştirme aşamasını içermektedir. Yakın zamanda geliştirilen kuru elektrot teknikleri ve kablosuz arayüzler EEG yönteminin bu dezavantajlarını azaltmayı ve havacılık uygulamalarındaki kullanımını derinleştirmeyi hedeflemektedir (Scholl vd., 2016).

Öncü çalışmalarda önemli bulgular elde edilmekle beraber, mevcut bilgi birikimini bir araya getirerek nörofizyolojik verilerin simülasyon ile bütünleşik olarak kullanılmasını sağlayan gerçekçi uygulamalara duyulan ihtiyaç henüz giderilememiştir (Borghini vd., 2014). Mevcut yöntemlerde karşılaşılan en büyük sorunlardan bir tanesi karmaşık teknik kurgu dolayısıyla sağlıklı veri toplanmasında yaşanan pratik zorluklardır. Ayrıca, mevcut çalışmalarda tespit edilen bilişsel durumlara yönelik örüntüler deney sonrasında yapılan çevrimdışı analizlere dayanmaktadır. Verileri gerçek zamanlı işleyerek bu tür bilişsel çözümleri yapabilen uygulamaların geliştirilmesi günümüzde halen aktif bir araştırma sahasıdır.

fNIRS optik beyin görüntüleme yöntemi ışık temelli ve portatif olması bakımından literatürde kullanılan emsallerine kıyasla havacılık uygulamalarında önemli avantajlar sunmaktadır. Havacılık uygulamaları için kritik önemi olan karar verme, işleyen bellek, dikkat yönetimi, motor kontrol gibi süreçlerin idamesinde önemli bir rol oynadığı bilinen prefrontal, premotor, motor, temporal ve parietal kortekste yer alan çeşitli bölgelerin ve aralarındaki bağımlılık ilişkilerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine imkân veren fNIRS yöntemi, simülasyon ortamlarında nörofizyolojik verilerin sağlıklı olarak toplanması ve işlenerek faydalı bilgiye dönüştürülmesi bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Teknolojik ve teorik gelişmeler sayesinde fNIRS sensörlerinin belirli beyin bölgelerini hedefleyebilecek şekilde küçültülebilmesi uçuş sırasında da bu süreçlerin izlenebileceğine işaret etmektedir. İlerleyen bölümlerde fNIRS teknolojisinin çalışma prensipleri, güncel

sistemlerin özellikleri ve fNIRS ile yapılan öncü havacılık uygulamaları özetlenmiştir.

4. Kızılötesi Işık ile Optik Beyin Görüntüleme Yöntemi

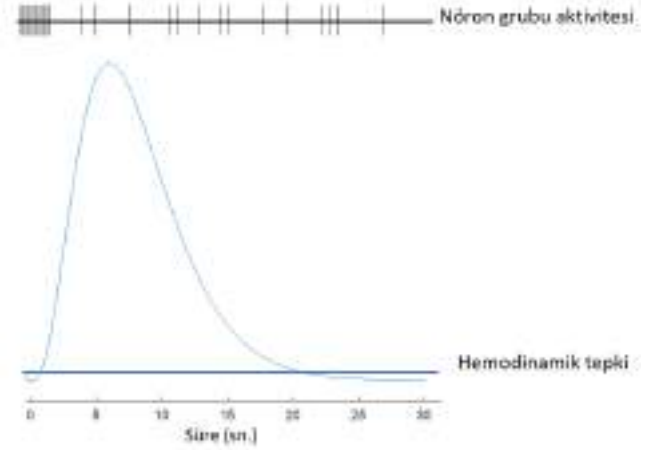
4.1. fNIRS Yönteminin Kısa Tarihçesi

1930'lu yıllarda optik alanında kaydedilen gelişmeler sonucunda kızılötesi ışınların deri, kemik, kas dokusu gibi yüzeylerden geçerek doku içerisinde spesifik molekül yapılarıyla etkileşime girdiğinin keşfedilmesi, bir dizi yenilikçi analiz yönteminin ortaya çıkmasına öncülük etmiştir (Chance, 1991). Kızılötesi ışınlarla kas dokusu üzerinde yapılan çalışmalar kasılmayı sağlayan metabolik reaksiyon sırasında gerekli olan oksijeni sağlamak için hemoglobin ve myoglobin moleküllerinin taşıdıkları oksijen atomlarını yitirdikleri sırada kızılötesi ışınlarla olan etkileşimlerinde bir farklılık olduğu anlaşılmıştır (Millikan, 1937). Bu bulgular oksijen doyum oranı yüksek ve düşük kanın kızılötesi yelpazede farklı renklerde görüldüğü anlamına gelmektedir. Kan dolaşımındaki doymuş oksijen oranını invazif ölçüm gerektirmeden ışık yardımıyla ölçme imkânı veren puls oksimetre cihazları bu prensibe dayanmaktadır (Mannheimer, 2007). Kan oksijen doyum oranının bu yöntemle izlenebildiğinin keşfi sonrasında havacılıkta yapılan öncü uygulamalardan birisi Glenn Millikan'ın kulak memesi üzerine yerleştirilen puls oksimetre yardımıyla pilotun maskesine verilen oksijen oranını ayarlayan hipoksi önleme sistemi olmuştur (Millikan, 1942; Severinghaus ve Astrup, 1986).

Kas hücrelerinde olduğu gibi beyin dokusunda yer alan sinir hücrelerinin de elektrik potansiyel oluşturabilmeleri için yoğun miktarda enerjiye ihtiyacı bulunmaktadır. Glikoz metabolizmasıyla sağlanan bu enerji aynı zamanda ortamda oksijen bulunmasını gerektirmektedir. Kasların aksine myoglobin gibi yapılar içerisinde oksijen depolayamayan sinir hücrelerinin enerji ihtiyacının karşılanması için gerekli olan oksijen dolaşım sistemi aracılığıyla kılcal damarlar üzerinden beyin dokusuna sağlanır. Sinir hücreleri aktifleştiği zaman açığa çıkan enerji ihtiyacı ile birlikte dokuyu besleyen kılcal damarlarda artan miktarda oksijen bağlı hemoglobin (HbO veya HbO₂) molekülü oksijenini bırakarak deoksi-hemoglobin (HbR veya Hb) molekülüne dönüşür. Dokudaki bu değişim 4-5 saniyelik bir süre içerisinde dolaşım sisteminin bu bölgeye yüksek miktarda oksijen bağlı hemoglobin arzı yapmasını tetikler (Şekil 1). Hemodinamik tepki olarak adlandırılan bu fizyolojik süreç nedeniyle aktifleşerek enerji ihtiyacı normale göre yükselen beyin dokusundaki HbO₂ konsantrasyonunda artış gözlenir (Buxton vd., 1998; Buxton vd., 2004). Değişen HbO₂ yoğunluğu nedeniyle dokudaki kanın optik özelliklerinin de güçlü bir şekilde değişmesi, fNIRS yöntemiyle hemodinamik tepkilerin izlenmesi için bir fırsat sunmaktadır. Sinir dokusu ve dolaşım sistemi arasındaki bu nörovasküler eşleşme aynı zamanda İşlevsel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ve pozitron ışınım tomografisi (PET) gibi nörogörüntüleme yöntemlerinin de temelini oluşturmaktadır (Iadecola, 2017).

fNIRS yönteminin işlevsel beyin işlevlerinin takibi için kullanılabilceği ilk kez Jobsis'in (1977) hiperventilasyon sırasında korteksdeki oksijenlenme değişiminin izlenebildiğini gösteren çalışmasıyla ortaya çıkmıştır (Ferrari & Quaresima, 2012). Yöntemin hasta yenidoğan bebekler üzerinde yapılan ilk uygulamaları sonucundaoksi-hemoglobin, deoksi-hemoglobin,

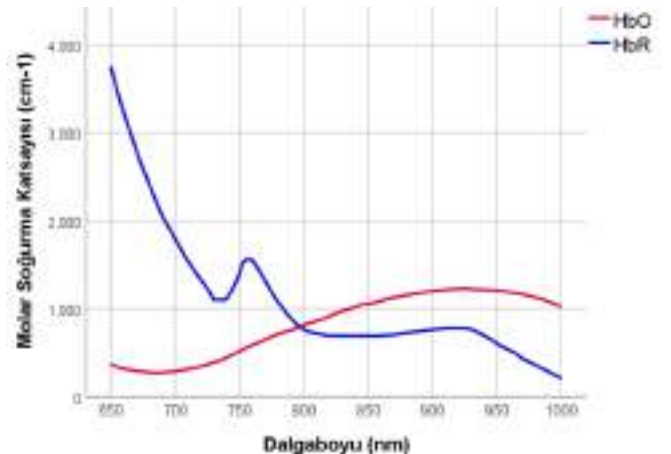
kan hacmi değişimi gibi ölçümlerin yapılabildiğinin gösterilmesi işlevsel beyin işlevlerinin fNIRS yöntemiyle izlenebileceğine yönelik ilk kanıtları sunmuştur (Cope ve Delpy, 1988). 1990'lı yıllarda ilk cihazların ortaya çıkmasıyla fNIRS yöntemiyle işlevsel beyin işlevlerinin izlenmesine yönelik çalışmaların sayısında artış gözlenmeye başlamıştır (Chance vd., 1993; Villringer vd., 1993; Villringer ve Chance, 1997). 2000'li yıllara gelindiğinde yazılım ve donanım bakımından yaşanan gelişmeler sonucunda daha çok ölçüm noktası destekleyen fNIRS sistemlerinin geliştirilmesiyle beraber bu yöntem giderek artan bir kullanım alanına sahip olmuştur (Obrig vd., 2000; Ayaz vd., 2012).



Şekil 1. Nöron gruplarının elektriksel aktivitesine bağlı olarak oluşan hemodinamik tepki.

4.2. fNIRS Yönteminin Fiziksel Temelleri

fNIRS yönteminin fiziksel temeli kırmızı ve kızıl-ötesi dalgaboylarındaki ışığın doku içerisinde oksijen taşıma görevli olan hemoglobin moleküllerinin varlığıyla orantılı olarak soğurulmasına dayanmaktadır. 650-950 nm dalgaboyu aralığında dokuda bulunan su, melanin gibi kromoforlara kıyasla en çok soğurulan molekül nöronların aktifleşmeleri için kritik önem taşıyan oksijeni hücrelere taşıyan hemoglobin molekülüdür (Şekil 2). Hemoglobinin oksijen bağlı ve oksijeni yitirmiş durumları bu dalgaboyu aralığında aynı zamanda farklı soğurma özellikleri göstermektedir. 700 nm civarında deoksi-hemoglobin, 900 nm civarında ise oksihemoglobinin daha çok soğurma yapması nedeniyle fNIRS sistemleri genellikle bu değerlere yakın dalgaboylarını kullanmaktadır.



Şekil 2. Optik pencere olarak adlandırılan 650-950nm dalgaboylarındaki ışık için HbO ve HbR soğurma katsayıları.

fNIRS sistemleri beyin dokusunu kızılötesi ışınlarla inceleme yaklaşımları bakımından sürekli aydınlatma (İng. continuous wave), frekans modülasyonlu (İng. frequency domain) ve zaman eksenli (İng. time domain) olmak üzere üç ana grup altında toplanmaktadır (Scholkmann vd., 2012; Ferrari ve Quaresima, 2012). Frekans modülasyonu yönteminde dokuya belirli salınım özellikleri olan ışınlar gönderilmekte ve toplanan sinyalin frekans, genlik, faz gibi özelliklerinde gözlenen değişim üzerinden belirli kromoforların hedef dokudaki varlığı hakkında kestirim yapılmaktadır. Zaman eksenli analizde ise pico-saniye uzunluğunda kızılötesi ışınlar dokuya gönderilerek algılayıcıya ulaşan fotonların ulaşma sürelerinin noktasal dağılım özellikleri (İng. point spread function) incelenmektedir (Pifferi vd., 2016; Yamada vd., 2019). Dağılım ve frekans modülasyonu özellikleri üzerinden HbO₂ ve Hb konsantrasyonlarının daha hassas ölçülmesi mümkün olmakla beraber, bu yöntemler lazer ışık kaynakları, fiberoptik iletim kanalları ve karmaşık elektronik devre tasarımı gerektirdiği için sahadan ziyade laboratuvar ortamında verimli olarak kullanılabilirlerdir.

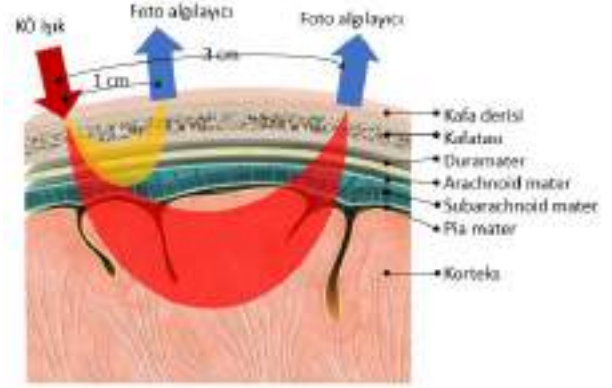
Sürekli aydınlatma yöntemi lazer yerine LED gibi kontrolü daha kolay ve daha az maliyetli ışık kaynaklarının kullanımına izin vermesi nedeniyle özellikle mobil fNIRS sistemlerinin tasarımında tercih edilmektedir. Sürekli aydınlatma içeren yöntemde belirli bir yoğunlukta ışık kaynağıyla aydınlatılan beyin dokusundan yansarak algılayıcılara ulaşan ışığın yoğunluğu arasındaki fark incelenmektedir. Optik pencere içerisindeki dalga boylarına sahip fotonlar beyin dokusuna nüfuz ettiğinde kısmen emilmekte kısmen de yansıtılmaktadır. Seçilen dalgaboyları itibariyle verilen ve toplanan ışınların şiddetinde oluşan farklılık ortamdaki HbO₂ ve Hb varlığıyla orantılı olarak gerçekleşmektedir. Doku gibi yoğun bir ortamdan geçen fotonların izledikleri yolun geometrisi ve uzunluğu da algılayıcıya ulaşan ışınların yoğunluğuna tesir etmektedir.

Analitik kimya alanında keşfedilen Beer-Lambert kanunu bu ilişkiyi logaritmik bir bozulma fonksiyonu olarak modelleyerek ışık yoğunlukları arasındaki farklılık ve fotonların izlediği yolu dikkate alarak hedeflenen kromoforların konsantrasyonları hakkında bir kestirim yapılmasına izin vermektedir. fNIRS yönteminde ışık kaynaklarının ve algılayıcıların kafa derisi üzerindeki konumları nedeniyle fotonlar kavisli bir yol izleyerek algılayıcılara ulaşmaktadır. Bu durum ışık kaynağı ve algılayıcının karşılıklı konumlandığı durumu modelleyen Beer-Lambert formülüne bir uyarılama yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle fNIRS literatüründe bu formül Uyarlanmış Beer-Lambert kanunu (İng. Modified Beer Lambert Law – MBLL) olarak ifade edilmektedir. Aşağıda verilen formül fNIRS sistemiyle optik pencere içerisinde bulunan iki farklı dalga boyunda ışın kullanılarak elde edilen optik yoğunluk değişimi değeri ile (İng. optical density) HbO₂ ve Hb kromoforlarının yoğunluklarındaki değişim arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

$$\begin{bmatrix} \Delta OD_{\lambda 1} \\ \Delta OD_{\lambda 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{\lambda 1} \\ \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{\lambda 2} \end{bmatrix} = d \cdot DPF \cdot \begin{bmatrix} \epsilon_{\lambda 1}^{Hb} & \epsilon_{\lambda 1}^{HbO_2} \\ \epsilon_{\lambda 2}^{Hb} & \epsilon_{\lambda 2}^{HbO_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta HbO_2 \\ \Delta Hb \end{bmatrix}$$

Formülde hedef kromoforların bu dalga boylarındaki soğurulma katsayıları ($\epsilon_{\lambda 1}^{Hb}$, $\epsilon_{\lambda 1}^{HbO_2}$, $\epsilon_{\lambda 2}^{Hb}$, $\epsilon_{\lambda 2}^{HbO_2}$) ışık kaynağı- algılayıcı arası mesafe (d) ve fotonların izlediği yolun geometrisine yönelik bir düzeltme katsayısı (DPF-differential path factor) yer almaktadır. Optik yoğunluk farkı ($\Delta OD_{\lambda 1}$)

gözlenen ham kızılötesi ışın miktarının belirlenen bir referans aralıkta (ör. dinlenme veya görev başlangıç aşaması) gözlenen değerlerden çıkarılmasıyla elde edilir. MBLL denklemi optik yoğunluktaki değişim değeri üzerinden hedeflenen dokudaki HbO₂ ve Hb yoğunluğunda gerçekleşen değişimi yordamak için kullanılır. Şekil 3'te görüldüğü üzere ışık kaynağı ve algılayıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak fotonların izlediği hüzmelerin derinliği değişmektedir. Mevcut sistemler ışık kaynakları ve algılayıcılar arasında 2.5-3 cm aralık bırakarak 1.5-2 cm civarında derinliklere ulaşabilmektedir.



Şekil 3. Işık kaynağına 1 ve 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış algılayıcılara ulaşan kızılötesi ışınların dokuda izlediği yolların şematik gösterimi.

4.3. Mevcut Mobil fNIRS Sistem Örnekleri

Saha kullanımına uygun, giyilebilir fNIRS sistemleri arasında bir kesit Tablo 1'de sunulmuştur. Mevcut sistemler izleyebildikleri beyin bölgeleri, kanal sayıları, dalga boyları, örneklem hızları ve veri aktarım arayüzleri bakımından çeşitlilik göstermektedir. Dolayısıyla ölçüm yapılacak uygulama ortamının ihtiyaçlarına ve kısıtlarına göre uygun bir fNIRS sistemi seçilmesi önem taşımaktadır. Şekil 4'de mevcut sistem tasarımlarını temsilen yedi farklı ürünün görselleri sunulmuştur.



Şekil 4. Örnek portatif fNIRS sistemleri. Artinis Portalite[†] (1), Biopac fNIR Devices 2000M[‡] ve alın üzerine yerleştirilen sensör pad (2), GowerLabs LUMO[§] (3), Artinis Brite MKII^{**} (4), Shimadzu LIGHTNIRS^{††} (5), Soterix OBELAB NIRSIT^{**} (6), Hitachi/NeU WOT-HS^{§§} (7).

[†] www.artinis.com/portalite

[‡] www.biopac.com/product/fnir-2000m-systems/

[§] www.gowerlabs.co.uk/lumo

^{**} www.artinis.com/brite

^{††} www.shimadzu.com/an/products/life-science-lab-instruments/imaging/lightnirs/

^{**} soterixmedical.com/research/nirsit

^{§§} neu-brains.site/en/brain-activity-measurement/

Tablo 1. Sahada Kullanılan Portatif fNIRS Sistemleri ve Temel Teknik Özellikleri

fNIRS Cihaz Marka/Model	Hedef Bölge	Kanal Sayısı	Örneklem Hızı (Hz)	Kullanılan Dalgaboyları (nm)	Işık kaynağı	Ağırlık (gram)/Pil Süresi (saat)	Bağlantı
Artinis Brite MK II **	Esnek	27	150	760, 850	LED	300 gr / 3s	Bluetooth
Artinis Octamon	Frontal	8	50	760, 850	LED	260 gr / 3s	Bluetooth
Artinis Octamon+	Esnek	8	50	760, 850	LED	260 gr / 3s	Bluetooth
Artinis PortaLite	Frontal	3	50	760, 850	LED	88 gr / 8 s	Bluetooth
Biopac fNIR Devices 2000M	Frontal	18	2-10	730, 850	LED	200 gr / 2s	Bluetooth
GowerLabs LUMO *	Esnek	48-1728	3.2-20.5	735, 850	Lazer	195 gr / -	Bluetooth
g.tec g.SENSOR fNIRS **	Sensorimotor ve Frontal	8	10	735, 850	LED	140 gr/1.5-8s	Wi-Fi
Hamamatsu NIRO-200NX	Frontal	2	0.03-20	735, 810, 850	LED	700 gr / 0.5s	RS-232c
HCMedx NirSmart	Esnek	40	10-23	760, 850	Lazer	-	Wi-Fi
Hitachi/NeU WOT 100	Frontal	16	5	705, 830	Lazer	650 gr / 2s	Wi-Fi
Hitachi/NeU WOT 220	Frontal	22	5	705, 830	Lazer	700 gr / 2s	Wi-Fi
Hitachi/NeU WOT-HS	Frontal ve Temporal	34	10	705, 830	LED	525 gr / 2s	Wi-Fi
Hitachi/NeU HOT-1000	Frontal	2	10	705, 830	LED	125 gr / 4s	Bluetooth
Hitachi/NeU HOT-2000	Frontal	2	10	705, 830	LED	129 gr / 4s	Bluetooth
Hitachi/NeU ExBrain XB-01	Frontal	1	5	705, 830	LED	30 gr / 3s	Bluetooth
NIRx Sport 2 **	Esnek	40-60	70-240	760, 850	LED	970 gr / 8 s	Wi-Fi
Plux/Charles River Analytics	Frontal	1	500	660, 950	LED	45 gr / 10 s	Bluetooth
Seenel Medelopt **	Esnek	32	64	760, 850	LED	-	Wi-Fi
Shimadzu LIGHTNIRS	Esnek	20	13.3	780, 805, 830	Lazer	1600 gr / 4s	Wi-Fi
Shimadzu SPEEDNIRS	Esnek	22	13.3	780, 805, 830	Lazer	1600 gr / 4s	Wi-Fi
Soterix/OBELAB NIRSIT *	Frontal	32-204	16.276	780, 850	Lazer	550 gr / 8s	Wi-Fi
Spectratech OEG-17H	Esnek	14-57	0.76-6.10	770, 840	LED	2000gr/2-6s	LAN
Spectratech OEG-16H-01	Frontal	16	0.76-6.10	770, 840	LED	2000gr/2-10s	LAN

* Difüze Optik Tomografi (DOT) desteği

** EEG entegrasyonu desteği

Mevcut portatif fNIRS sistemleri (1) az kanallı, hafif ve kolay uygulanabilir sensörler (ör. Portalite), (2) orta seviyede kanal destekleyen ve sabit sensör geometrisi kullanan sistemler (ör. fNIR 2000M, NIRSIT, Hitachi/NeU WOT-HS), (3) çok kanal destekleyen ve baş üzerine esnek yerleşim sağlayan sistemler (ör. Brite, Lightnirs, LUMO) olarak üç ana grupta ele alınabilir.

Tablo 1'de verilen mobil fNIRS sistemlerinin hepsi sürekli aydınlatma tayfölcümü yöntemini kullanmaktadır. Nispeten daha basit kontrol devreleri içermesi, esnek tasarıma izin vermesi ve az pil tüketmesi nedeniyle bu yöntem mobil uygulamalarda ön plana çıkmaktadır. Buna karşılık bazı sistemlerin daha ekonomik ve kullanım kolaylığı getiren LED'ler yerine ışık kaynağı olarak lazer kullandığı görülmektedir. Lazer temelli sistemler LED sistemlere göre pil tüketimi, ağırlık ve büyüklük bakımından dezavantajlı olmakla beraber foton karakteristiklerinin daha hassas kontrolünün sağlanması bakımından bazı avantajlar sunmaktadır.

Mevcut sistemlerin büyük bir çoğunluğu çift dalga boyu kullanmaktadır. Hamamatsu ve Shimadzu sistemleri 805/810 nm gibi HbO₂ ve Hb moleküllerinin yakın oranda soğurma yaptığı, izobestik nokta olarak adlandırılan ek bir dalga boyunda daha ölçüm alabilmektedir. fNIR Devices ve Artinis gibi sistemlerde

ise ortam ışığının düzeyini izlemek amacıyla LED ışık kaynakları kapalı konumdayken de veri çekebilme özelliği bulunmaktadır. Bu özellik sayesinde algılayıcıların deri ile yeterince temas sağlamaması nedeniyle sızıntı olması gibi durumlar tespit edilebilmektedir.

Sistemler destekledikleri örnekleme hızları bakımından da farklılık göstermektedir. Örneklem hızı sütununda aralık verilen sistemler kontrol yazılımları üzerinden hız değişikliği yapılmasını destekleyebilmektedir. Hemodinamik tepkinin oluşumunun ve sönümlenmesinin yaklaşık 8-10 saniye gibi bir süre alması ve bilişsel süreçler idame edilirken beyin dokusunda gerçekleşen hemodinamik hareketlerin üst üste binerek ekleniyor olması nedeniyle 2 saniyede bir (0.5 Hz) örnekleme yapabilen bir fNIRS sisteminden de korteksdeki oksijen tüketimi hakkında faydalı bilgi alınması mümkündür. Daha yüksek hızlarda örnekleme yapan sistemler hemodinamik tepkiler ve ilişkili fizyolojik süreçler hakkında daha çok bilgi edinilmesini sağlamaktadır.

Özellikleri özetlenen fNIRS sistemlerini birbirinden ayıran bir diğer önemli özellik izleyebildikleri beyin bölgeleridir. Biopac fNIR Devices 2000M veya NIRSIT gibi sistemler alın üzerine konumlandırılarak frontal korteks üzerinden veri almak üzere optimize edilmiştir. Hitachi/NeU WOT-HS gibi sistemler

temporal korteksi de kapsayacak şekilde kapsama alanını arttırabilmektedir. Tablo 1'de hedef bölge sütununda esnek değerine sahip Artinis Brite MKII, NIRx Sport2, NirSmart, LUMO gibi sistemler ise ışık kaynağı ve algılayıcıların ayrı ayrı monte edilmesine izin vererek daha esnek sensör yerleşimine olanak sağlamaktadır. Kızılötesi fotonlar deri ve kafatasından geçebilmesine rağmen saç folikülleri tarafından saçılma uğratıldığı için saçlı doku üzerinden veri alınması için özel ışık kaynağı ve algılayıcı tasarımları kullanılması gerekmektedir.

Son olarak LUMO ve NIRSIT sistemleri Difüze Optik Tomografi (Diffuse Optical Tomography - DOT) yöntemini uygulayabilmeleri bakımından diğer sistemlerden ayrılmaktadır. DOT yöntemiyle ölçüm yapan sistemler aralarındaki mesafe bakımından çeşitlilik gösteren çok sayıda ışık kaynağı ve algılayıcı kombinasyonu üzerinden veri alınmasını sağlayarak beyin dokusunda birden fazla derinlik seviyesinden yüksek yoğunluklu ölçüm alınmasını sağlamaktadır. Örneğin 12 parçalı desende LUMO sistemi 48 kanal desteklemesine rağmen DOT yöntemini kullanarak kanal sayısını teorik olarak 1728'e çıkararak 3 cm derinliğe kadar gerçekleşen hemodinamik tepkilerin 3 boyutlu bir görüntüsünü oluşturabilmektedir (Frijia vd., 2021). Saha kullanımı için uygun olmayan, laboratuvar kullanımına yönelik tasarlanmış fNIRS sistemlerinin yer aldığı daha geniş derleme ve değerlendirmeler için Pinti vd. (2018), Quaresima ve Ferrari (2019) ve Scholkmann vd. (2014) gibi kaynaklara başvurulabilir.

Mobil fNIRS sistemlerindeki çeşitlilik farklı çalışmaların ihtiyaçlarına göre uygun sistemlerin belirlenmesini de gerektirmektedir. Örneğin, jet pilotlarıyla uçuş sırasında veri alınması planlandığında kask kullanımı, ortam kısıtları ve havacılık kuralları gereği PortaLite, XB-01 veya Plux türü kask altına uygulanabilecek boyutlardaki sensörler nispeten daha uygulanabilir çözümler olarak değerlendirilebilir. Diğer sensörlerin kullanımı daha fazla noktadan veri alınmasını sağlayarak daha kapsamlı bilgi toplanmasını sağlamakla beraber özel bir kask tasarımı ve montaj işlemi gerektirecektir. Uçuş simülatörü gibi kokpite kıyasla daha çok serbestliğin olduğu veri çekim durumlarında Tablo 1'de listelenen sistemlerin hepsi teknik olarak kullanılabilir. İzlenmesi hedeflenen beyin bölgelerine ve pilotlar açısından kabul edilebilir giyilebilirlik özelliklerine sahip olduğu değerlendirilen sensörlerle simülatör uçuşları sırasında veri toplanarak hemodinamik hareketlerin izlenmesi mümkündür.

4.4. Mobil fNIRS Verilerinin Analiz Sürecini Etkileyen Faktörler

Sahada portatif fNIRS sensörleri ile yapılan ölçümlerin anlamlandırılabilmesinde laboratuvar ortamında temel bilişsel süreçler üzerinde farklı teknolojilerle gerçekleştirilen detaylı gözlemlerin oluşturduğu birikimin önemli bir rolü bulunmaktadır. Laboratuvar ortamında daha büyük fNIRS sistemleriyle yapılan çalışmalara ek olarak hemodinamik tepkinin ölçümüne odaklanan işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) çalışmalarından elde edilen bulgular da saha çalışmaları için yol gösterici niteliktedir. Saha kullanımında odaklanılacak ölçüm bölgelerinin belirlenmesinde ve ilgili bilişsel süreçler ekseninde beklenen etkilere yönelik ilk hipotezlerin kurgulanmasında bu birikimden yararlanılmaktadır.

Gerçek kullanım sırasında fiziksel koşulların sinyaller üzerinde kontrollü laboratuvar ortamına kıyasla bazı olumsuzluklar getirmesi söz konusudur. fNIRS optik doğası

gereği çevresel kızılötesi ışık kaynaklarının varlığından, saç ve terlemeden etkilenebilmektedir. Ortam ışığının etkisinin azaltılması için sensörlerin kızılötesi ışın geçirmeyen özel kumaşlar ile örtülmesi ve spesifik dalga boyları dışındaki aralıkları filtreleyebilen algılayıcılar kullanılması yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

Harekete bağlı olarak kanlanmada oluşabilecek değişiklikler fNIRS sinyalleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu tür fiziksel harekete bağlı etkilerin oluşturduğu sinyal değişiminin bilişsel etkilerden kaynaklanan değişimlere kıyasla yüksek genliğe sahip olması ve çoğu mobil sistemin baş hareketlerini izlemek için kullanılabilir ivme ölçerlere sahip olması harekete bağlı etkilerin azaltılması için etkili yöntemler geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Ayaz vd., 2010; Molavi ve Dumont, 2012).

fNIRS sinyallerine önemli yansımaları olan bir başka önemli etken kardiyovasküler etkiler olarak adlandırılan nabız, nefes alma döngüleri ile Mayer dalgalarıdır. Bu tür kardiyovasküler etkilere ait frekans aralıkları hemodinamik etkilere kıyasla daha yüksek aralıklarda bulunduğu için band-geçiren veya sonlu dürtü filtreleri kullanılarak sinyaller bu etkilerden arındırılmaktadır (Barker vd., 2013). Uygulama bağlamında kullanımı gerektiğinde süzülen bu bilgiler üzerinden nabız, nabız değişkenliği, nefes alma sıklığı gibi nöroergonomi araştırmalarında sıklıkla kullanılan ek bilgiler de elde edilebilmektedir.

Son olarak, fNIRS yönteminin bir diğer önemli kısıtı izlenebilen beyin dokusunun yüzeye yakın bölümlerle kısıtlı olması ve kafa büyüklüğüne bağlı olarak sensör konumlarının kişiler arası farklılıklar gösterebilmesidir. Üst seviye bilişsel süreçlerin ağırlıklı olarak yüzeye yakın olan korteks bölgesiyle ilişkili olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla bu kısıta rağmen fNIRS'den yararlı bilgi alınabilmesi mümkündür. Derin yapıların görülebildiği fMRI gibi teknikler katılımcının yatar pozisyonda ve kapalı bir ortamda, sabit konumda durmasını gerektirdiği için saha kullanımına elverişli değildir. Mobil, portatif ölçüm imkânı sayesinde daha derin bölgelerin izlenebildiği fMRI gibi yöntemlerin kullanılmayacağı uçuş simülatörü gibi ortamlarda veri toplama imkânı sağlaması fNIRS yönteminin sunduğu en önemli avantajlardan birisidir. Saha uygulamaları getirdiği teknik zorluklara rağmen beynin daha gerçekçi uyaranlara maruz kaldığı durumlarda incelenmesine olanak vermektedir. Laboratuvar deneylerine kıyasla gerçekçi koşullarda beyin yanıtlarının da güçlenmesi ölçümlerin saha ortamlarında yapılmasına odaklanan çalışmalar için önemli bir motivasyon kaynağıdır.

5. fNIRS Havacılık Uygulamaları

Bu kısımda havacılık alanında fNIRS teknolojisiyle gerçekleştirmiş bazı öncü çalışmalar, bilişsel iş yükü takibi ve beceri kazanımının nörofizyolojik izdüşümleri genel başlıkları altında özetlenmiştir. Buna ek olarak fNIRS teknolojisinin gerçek uçuş sırasında bilişsel işyükü takibi ve hipoksi kestirimi amacıyla kullanıldığı çalışmalardan da örnekler sunulmuştur.

5.1. Beceri Kazanımının Nörofizyolojik İzdüşümleri

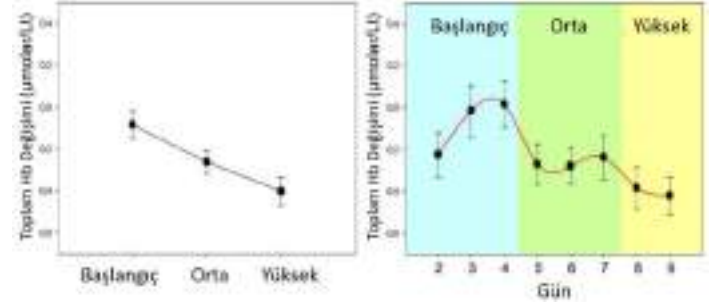
Simülatör ortamları çeşitli senaryoların planlanıp aynı koşullarda tekrar edilerek koşulmasını sağlayabildiği için pilot/operatör eğitiminde önemli bir role sahiptir. Bu tür

eğitimler sırasında fNIRS ölçümlerinin alınarak simülâtörden elde edilen performans parametreleriyle bir arada yapılan değerlendirmeler pilotların/operatörlerin beceri gelişimi süreçlerinin hem davranışsal hem de nörofizyolojik bakımdan değerlendirilmesi imkanını sunmaktadır. Bu bağlamda İHA operatörlerinin eğitimi ve bilişsel iş yükü takibi için yapılan bir fNIRS çalışmasında prefrontal korteks bölgesinden alınan ölçümlerin operatörün artan deneyimine bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir (Ayaz vd., 2013; Ayaz vd., 2012; Izzetoglu vd., 2014). Bu çalışma sırasında İHA simülâtör uçuş deneyimi olmayan katılımcılar, İHA simülâtöründe piste yaklaşma ve iniş görevlerini üç haftalık bir süreye yayılan ve birer saat süren 9 seans içerisinde tekrarlı olarak icra etmiştir. Kullanılan senaryolar acemi bir pilotu gerçekçi ve kritik derecede önemli olan iki İHA görevine maruz bırakarak, zaman içerisinde davranışsal olarak gösterdikleri gelişimin nörofizyolojik izdüşümlerini ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. İlk senaryoda katılımcılardan ekranda beliren hedeflere doğru İHA'yı yönelterek piste dönüş manevrasını tamamlamaları istenmiştir. İkinci senaryoda ise katılımcılardan piste yaklaşmak üzere olan İHA'yı piste başarıyla indirmeleri istenmiştir. İki senaryoda da katılımcıların belirli hız ve yatış açısı kısıtlamalarına uyararak ve yer yer olumsuz hava koşullarıyla mücadele ederek İHA'yı mümkün mertebe en kısa yoldan ve düzgün bir biçimde uçurmaları istenmiştir. Performans değerlendirmesi İHA'nın bu manevralar sırasında izlemesi beklenen yükseklik, yön ve hız parametrelerinden ne derece saptığının ölçülmesi yoluyla yapılmıştır. Tüm katılımcılar başlangıçta güç (throttle), joystick ve rudder pedallarını 9 hafta süresinde her hafta tutarlı bir şekilde performans seviyelerini ilettilererek son hafta itibariyle mükemmel yakın performansla iniş yapabilir duruma gelmişlerdir.

İHA görevleri sırasında katılımcıların deneyim seviyesi ilerledikçe (başlangıç/orta/uzman) beyinlerinin ön bölgesinde Biopac fNIRS cihazı ile izlenen toplam hemoglobin (HbT) yoğunluğundaki değişim miktarında anlamlı bir farklılık olup olmadığı tek yönlü, tekrarlı ANOVA testi ile sınanmıştır. Önceki çalışmalarda (Ayaz vd., 2012) benzer bilişsel süreçlere odaklanan deneylerden elde edilen bulgular, sol prefrontal korteksin inferior frontal gyrus bölgesinin bu süreçler sırasında istikrarlı yanıt verdiği gözlemlendiği için veri analizi sırasında bu kanala odaklanılmıştır. İstatistiksel bulgular tecrübe seviyesi arttıkça öğrenmeye bağlı olarak davranışsal ölçümlerde gözlenen iyileşmeye paralel olarak, bu bölgeden toplanan fNIRS işaretinde istatistiksel olarak anlamlı bir düşme olduğunu göstermiştir (Şekil 5, sol). Bu durum simülâtör ortamında zamanla gerçekleşen öğrenme ve beceri gelişimi süreçlerinin beynin ön bölgesine olan yansımalarının fNIRS teknolojisiyle izlenmesinin mümkün olduğuna işaret etmektedir.

Haftalık seanslar özelinde gelişim sürecine bakıldığında ise beceri düzeyinin performansa göre başlangıç düzeyinde olduğu aşamada ilk etapta prefrontal oksijenlenmede artış olduğu, davranışsal aşama kaydedildiğinde düşüş trendi olduğu görülmektedir (Şekil 5, sağ). Orta seviye performans döneminde ise yine kısmen prefrontal oksijenlenmede artış olmuş, performans en iyi noktaya geldiği aşamada ise en düşük düzeyde oksijenlenme gözlenmiştir. Başlangıç ve orta düzeyde gözlenen bu tür dalgalanmalar sürecin negatif bir eğim ile doğrusal olarak ilerlemediğini, kişilerin göreve angaje olma durumlarına göre doğrusal olmayan değişkenlikler gösterebildiğine işaret etmektedir. Katılımcıların İHA simülasyonunda kısa bir eğitim ile bu sürece dahil olmuş olmaları nedeniyle ilk denemelerindeki

prefrontal oksijenlenme düzeyi kontrollere aşına olarak performans iyileşmesi yaşadıkları ikinci ve üçüncü seanslarda göreve angajman düzeyleriyle beraber artış göstermiştir. Orta gelişim düzeyinde ise aynı işlevlerin aynı düzeyde prefrontal etki oluşturmadığı, fakat katılımcıların temel kontrol yüzeylerine aşına olduktan sonra görev başarı puanlarını arttırmak amacıyla sarfettikleri ek çabanın bu kısımdaki seanslarda belirli bir düzeyde prefrontal oksijenlenme oluşturduğu görülmektedir. En üst düzey performans görülen son iki seansta ise davranışsal performansın ideal değerlere yakınsamasıyla prefrontal oksijenlenmenin daha da düşük seviyelerde gerçekleştiği gözlenmiştir.



Şekil 5. İHA simülâtör çalışmasında tekrarlı senaryo uygulaması sırasında performans aşamaları ve seanslara göre fNIRS sinyallerinde gözlenen ortalama değişim (Ayaz vd., 2012, s.6).

Nörobilim literatüründe eğitime bağlı olarak katılımcıların Tetris gibi görevlerde uzmanlaşma trendine odaklanan çalışmalarda da performans artışına paralel olarak prefrontal korteks bölgesindeki aktifleşme düzeyinde azalma olduğu raporlanmıştır (Haier vd. 2009). Bu durumun ilgili görevin uzmanlaşan kişi için başlangıç düzeyine göre daha az düzeyde üst düzey, bilinçli düşünme eforu gerektirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu örüntüler aynı performansı gösteren iki bireyin görevi icra ederken prefrontal kortekslerinde gerçekleşen aktivite düzeyleri üzerinden değerlendirmeler yapılması için bir fırsat sunmaktadır. Farklı uzmanlık düzeylerinde olan operatörlerin bir arayüzü kullanırken prefrontal korteks aktiviteleri bakımından farklı trendler gösterdiği fNIRS literatüründe farklı uygulama ortamlarında gözlenmiştir (İşbilir vd., 2019). Başka bir deyişle, fNIRS ölçümleri davranışsal performans ölçümleriyle bir arada ele alınarak *bilişsel rezerv* kavramının niceliksel bir ifadesi tanımlanabilir. Örneğin görev performansı arttıkça prefrontal korteksdeki aktifleşmenin azalması, pilotun uçuş sırasında gerçekleşebilecek acil durumlara daha çabuk reaksiyon göstererek doğru kararlar almasını sağlayacak bilişsel rezervin uzmanlaşma sonucunda bu bölgede oluştuğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla, fNIRS işaretleri ve davranışsal performans verileri bir arada kullanıldığında simülâtör eğitimi sırasında pilotun sahip olduğu bilişsel rezervin miktarına yönelik faydalı çıkarımlar yapılması mümkün görünmektedir.

5.2. Bilişsel İşyükü Takibi

Bu kısımda operatörlerin ekolojik olarak geçerli ortamlarda görevlerini icra ederken bilişsel işyüklerinde gerçekleşen değişimin fNIRS yöntemiyle ölçülebileceğine işaret eden iki deneyin sonuçlarına yer verilmiştir. İlk çalışmada bir grup hava trafik kontrolörü standard n-geri testi ve iki değişik arayüz aracılığıyla hava trafik kontrol görevi icra ederken fNIRS ölçümü yapılmıştır (Ayaz vd., 2012). N-geri testinde katılımcı-

lardan ekranda beliren karakterleri izleyerek tekrar etme sıklıklarında görülen örüntülere göre bir düğmeye basmak suretiyle tepki vermeleri istenmiştir. Test sırasında katılımcıların 1-geri durumunda arka arkaya aynı karakterin geldiği hallerde, 2-geri durumunda gözlenen karakterin bir önceki aşamada gösterilen ile aynı olduğu hallerde, 3-geri durumunda ise gözlenen karakterin iki aşama önce gösterilen karakterle aynı olduğu hallerde düğmeye basmaları beklenmektedir. Seviye arttıkça akılda tutulması gereken karakter miktarı da arttığı için bu test nöropsikoloji ve insan faktörleri literatüründe işleyen bellek ve dikkat kapasitesinin ölçümü için sıklıkla kullanılmaktadır (Smith ve Jonides, 1997). Hava trafik kontrolü görevinde ise kontrolör ve pilotlar arasında iki tür iletişim kanalı kullanılmaktadır. İlk görevde kontrolörler pilotlarla ses bazlı iletişim kurarak uçaklara yönlendirmede bulunmuş, ikinci görevde ise iletişim için ses yerine yeni geliştirilen chat arayüzünü kullanmışlardır. Takip edilen uçak miktarı 6, 12 ve 18 olmak üzere sistematik olarak artırılarak görevlerin zorluğu artırılmıştır (Willems et al., 2006, 2010). Bu deneylerde fNIRS ile prefrontal korteks bölgesi üzerinde yapılan ölçümle incelendiğinde görev zorluğu arttıkça prefrontal korteksdeki aktifleşme miktarında da aynı yönde bir artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca chat bazlı arayüzün ses temelli arayüze kıyasla daha az prefrontal aktivite oluşturduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışma alternatif arayüz tasarımlarının operatörler üzerinde oluşturduğu bilişsel iş yükü bakımından değerlendirilmesinde fNIRS teknolojisinden yararlanılabileceğini göstermektedir.

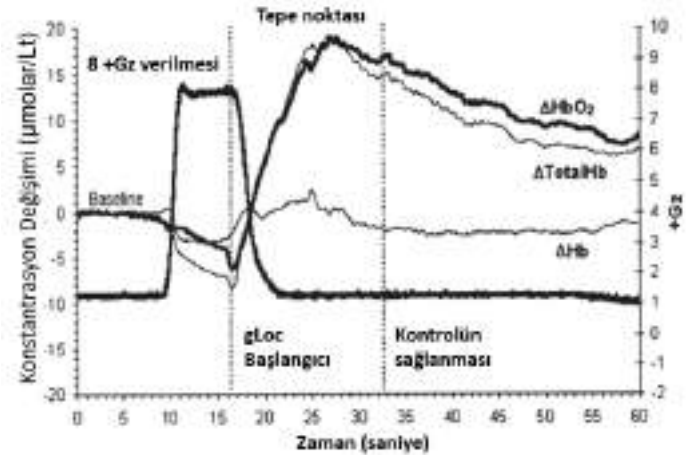
Son yıllardaki çalışmalar fNIRS yönteminin mental iş yükünün uçuş simülöründe görev koşutururken gerçek zamanlı olarak değerlendirilmesinin de mümkün olabileceğine işaret etmektedir. Örneğin Gateau vd. (2015) öncü çalışmasında pilotun dorsolateral prefrontal korteks bölgesinden alınan fNIRS sinyalleri üzerine support-vector machine algoritmasını koşturarak uçuş simülöründe düşük ve yüksek mental iş yükü oluşan durumların kestirilebileceği gözlenmiştir. Benzer bir çalışmada Çakır vd. (2016) bir Airbus A320 simülörü uçuş sırasında mental iş yükü düzeyini 3 kademeli olarak (düşük, orta, yüksek) fNIRS sinyalleri üzerine doğrusal ayırdedici modeller koşturarak %70 doğruluk payıyla öngörebilmiştir (Şekil 6). Son olarak, Kikuwa vd. (2008) gerçek bir helikopter uçuşu sırasında iş yükünün arttığı durumlarda (ör. dağa yaklaşma manevrası) fNIRS sinyallerinde de anlamlı bir artış olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular fNIRS yöntemiyle prefrontal korteks bölgesinde izlenen hemodinamik değişimlerin havacılık uygulamaları sırasında mental iş yükü kestirimi için etkili bir biçimde kullanılabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 6. fNIRS ile gerçek zamanlı bilişsel iş yükü takibi yapılan bir simülör uçuşu sırasında motor arızası sonrası gözlenen yanıt. (Çakır vd., 2016, s.155).

5.3. Hipoksi ve G-LoC Kestirimi Uygulamaları

Yüksek irtifada düşük hava basıncına maruz kalma dolayısıyla oluşan hipoksi ve yüksek hızda yapılan manevralar sırasında yerçekimi nedeniyle yaşanan bilinç kaybı (İng. gravity induced loss of consciousness – G-LoC) durumları uçuş emniyetini tehdit eden başlıca fizyolojik durumlardır. Bu durumların önceden tespit edilerek gerekli tedbirlerin alınabilmesi (ör. oto pilota geçilerek güvenli bir irtifaya inilmesi veya pilota önceden uyarı verilmesi) uçuş emniyetinin sağlanması için önem taşımaktadır. İki durumda da beyindeki kan akışı ve oksijen içeriğinde değişiklik oluştuğu için fNIRS teknolojisi hipoksi ve G-LoC kestirimi yapılması için de önemli fırsatlar sunmaktadır. Ryoo vd. (2004) santrifüj içerisinde yaptıkları fNIRS çalışmasında G-LoC etkisinin görülmeye başlamasından kısa bir süre önce prefrontal korteksdeki oksijen doygunluk düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş gözlendiğini raporlamıştır. Benzer bir şekilde Benni vd. (2003) tarafından yapılan santrifüj çalışmasında G-baskısı uygulanırken deoksi-hemoglobin düzeyinde bir miktar artma ve oksihemoglobin seviyesinde azalma olduğu, G-baskısı ortadan kalkınca ise temiz kan miktarında yoğun bir artış olduğu ve bu artışı takip eden 20 saniyelik sürede bilincin tekrar açıldığı gözlenmiştir (Şekil 7). Kobayashi ve Miyamoto (2000) ise F15 pilotlarıyla gerçek uçuş sırasında yapılan manevralar sırasında aldıkları fNIRS verilerinde benzer örüntüler bulunduğunu raporlamıştır.



Şekil 7. Oksi- ve deoksi-hemoglobin miktarlarında +8 G'lik stress öncesi, sırası ve sonrasında gözlenen değişim (Benni vd., 2003, s. 374).

Mevcut çalışmalar G-LoC tespiti için tüm pilotlara uygulanabilecek genel bir kritik eşik değeri henüz tespit edebilmiş değildir. fNIRS ile 114 pilot üzerinde yapılan geniş kapsamlı bir çalışma G-LoC oluşumunun oksijen doygunluk miktarında ortalama %15'lik bir azalmayla birlikte ortaya çıktığını göstermiş (Kurihara vd. 2007), ancak bu değer pilotların G-LoC yaşadığı anın kestirilmesi için yeterli bir kesinlik vermemektedir. Bu durumun pilotların g-toleranslarındaki farklılıklardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. G-LoC'a nazaran hipoksi ise fNIRS ile nispeten az çalışılmış bir alandır. Pilotların soluduğu hava karışımının kimyasal içeriğinin değiştirilerek hipoksi etkisi yaratıldığı bir deneyde G-LoC etkisine benzer bir şekilde beyindeki oksijenleşme seviyesinde önemli düşüşler olduğu gözlenmiştir (Davranche vd., 2016).

6. Sonuç

Havacılık operasyonlarının daha güvenli hale getirilebilmesi için pilotların ve operatörlerin bilişsel durumlarının tespiti ve takibi için kullanılacak güvenilir, nesnel ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu derlemede değinilen öncü çalışmalarda elde edilen bulgular, fNIRS optik beyin görüntüleme teknolojisi gibi saha kullanımına uygun, portatif ve güvenilir nörofizyolojik ölçüm yöntemlerinin bu ihtiyaca yönelik önemli avantajlar sunabileceğine işaret etmektedir. Özetlenen öncü çalışmalar görev icrası sırasında bilişsel işyükünde oluşan değişimin gerçek zamanlı takibi, alternatif arayüzlerin operatörler üzerinde oluşturdukları bilişsel işyükü bakımından kıyaslanması, g-loc/hipoksi gibi durumların kestirimi gibi faydalı bilgilerin fNIRS yöntemiyle elde edilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Daha büyük örneklerle çeşitli havacılık senaryolarını da içine alacak şekilde yapılacak çalışmalar sayesinde nörofizyolojik yöntemlerle bilişsel süreç takip yöntemlerinin daha da geliştirilmesi olası görünmektedir. Bu yöntemlerin geliştirilmesiyle simülasyon eğitimlerinin kişinin bilişsel özelliklerine göre kişiselleştirilebildiği akıllı eğitim ortamları, insan-makina tümleşmesine vesile olan yenilikçi, etkin arayüzlerin tasarımı gibi başka önemli çıktılar da elde edilmesi beklenmektedir. Mobil sistemlerin giderek daha çok kortikal bölgeden veri alınmasına imkân vermesi ve difüze optik tomografi gibi yöntemlerin yaygınlaşmaya başlaması bölgeler arası bağlantı ilişkileri ve 3-boyutlu trend analizleri üzerinden mevcut analizlerin derinleştirilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Son olarak literatürde değişik sensörlerle elde edilen bulgular göz önünde bulundurulduğunda, fNIRS sistemlerinin EEG, göz izleme cihazı gibi ek ölçümlerle birleştirildiği çok kipli analiz yaklaşımıyla daha güçlü bilişsel değerlendirmeler yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Kaynakça

Ayaz, H., Onaral, B., Izzetoglu, K., Shewokis, P. A., McKendrick, R., & Parasuraman, R. (2013). Continuous monitoring of brain dynamics with functional near infrared spectroscopy as a tool for neuroergonomic research: Empirical examples and a technological development. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1-13.

Ayaz, H., Çakır, M. P., İzzetoğlu, K., Curtin, A., Shewokis, P. A., Bunce, S. C., & Onaral, B. (2012, March). Monitoring expertise development during simulated UAV piloting tasks using optical brain imaging. In *Proceedings of 2012 IEEE aerospace conference* (pp. 1-11). IEEE.

Ayaz, H., Shewokis, P. A., Bunce, S., Izzetoglu, K., Willems, B., & Onaral, B. (2012). Optical brain monitoring for operator training and mental workload assessment. *Neuroimage*, 59(1), 36-47.

Ayaz, H., Bunce, S., Shewokis, P., Izzetoglu, K., Willems, B., & Onaral, B. (2012). Using Brain Activity to Predict Task Performance and Operator Efficiency. In H. Zhang, A. Hussain, D. Liu & Z. Wang (Eds.), *Advances in Brain Inspired Cognitive Systems* (Vol. 7366, pp. 147-155). Berlin: Springer.

Ayaz, H., Shewokis, P. A., Curtin, A., Izzetoglu, M., Izzetoglu, K., & Onaral, B. (2011). Using MazeSuite and Functional Near Infrared Spectroscopy to Study Learning in Spatial Navigation. *Journal of Visual Experiments* (56), e3443.

Ayaz, H., Willems, B., Bunce, B., Shewokis, P. A., Izzetoglu, K., Hah, S., Onaral, B. (2010). Cognitive Workload Assessment of Air Traffic Controllers Using Optical Brain Imaging Sensors. In T. Marek, W. Karwowski & V. Rice (Eds.), *Advances in Understanding Human Performance: Neuroergonomics, Human Factors Design, and Special Populations* (pp. 21-31): CRC Press.

Ayaz, H., Izzetoglu, M., Shewokis, P. A., & Onaral, B. (2010, August). Sliding-window motion artifact rejection for functional near-infrared spectroscopy. In *Proceedings of 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology* (pp. 6567-6570). IEEE.

Ayaz, H., & Dehais, F. (Eds.). (2019). *Neuroergonomics: The brain at work and in everyday life*. Academic Press.

Barker, J. W., Aarabi, A., & Huppert, T. J. (2013). Autoregressive model based algorithm for correcting motion and serially correlated errors in fNIRS. *Biomedical Optics Express*, 4(8), 1366-1379.

Benni, P. B., Li, J. K., Chen, B., Cammarota, J., & Amory, D. W. (2003). NIRS monitoring of pilots subjected to+ Gz acceleration and G-induced loss of consciousness (G-LOC). In *Oxygen Transport to Tissue XXIV* (pp. 371-379). New York: Springer.

Borghini, G., Isabella, R., Vecchiato, G., Toppi, J., Astolfi, L., Caltagirone, C., & Babiloni, F. (2011). Brainshield: HREEG study of perceived pilot mental workload. *Italian Journal of Aerospace Medicine*, 5, 34-47.

Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 58-75.

Bunce, S., Izzetoglu, K., Ayaz, H., Shewokis, P., Izzetoglu, M., Pourrezaei, K., & Onaral, B. (2011). Implementation of fNIRS for Monitoring Levels of Expertise and Mental Workload. In D. Schmorow & C. Fidopiastis (Eds.), *Foundations of Augmented Cognition. Directing the Future of Adaptive Systems* (Vol. 6780, pp. 13-22). Berlin: Springer.

Buxton, R. B., Wong, E. C., & Frank, L. R. (1998). Dynamics of blood flow and oxygenation changes during brain activation: the balloon model. *Magnetic Resonance in Medicine*, 39(6), 855-864.

Buxton, R. B., Uludağ, K., Dubowitz, D. J., & Liu, T. T. (2004). Modeling the hemodynamic response to brain activation. *Neuroimage*, 23, S220-S233.

Çakır, M. P., Vural, M., Koç, S. Ö., & Toktaş, A. (2016). Real-Time monitoring of cognitive workload of airline pilots in a flight simulator with fNIR optical brain imaging technology. In D. Schmorow & C. M. Fidopiastis (Eds.), *Foundations of augmented cognition: Neuroergonomics and operational neuroscience* (pp. 147-158). Cham, Switzerland: Springer.

Chance, B. (1998). Near-infrared images using continuous, phase-modulated, and pulsed light with quantitation of blood and blood oxygenation. *Annals of New York Academy of Sciences*, 838, 29-45.

Chance, B. (1991). Optical method. *Annual Review of Biophysics and Biophysical Chemistry*, 20(1), 1-30.

Chance, B., Anday, E., Nioka, S., Zhou, S., Hong, L., Worden, K., . . . Thomas, R. (1998). A novel method for fast imaging of brain function, non-invasively, with light. *Optics Express*, 2(10), 411-423.

- Dahlstrom, N., Dekker, S., Van Winsen, R., & Nyce, J. (2009). Fidelity and validity of simulator training. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 10(4), 305-314.
- Davranche, K., Casini, L., Arnal, P. J., Rupp, T., Perrey, S., & Verges, S. (2016). Cognitive functions and cerebral oxygenation changes during acute and prolonged hypoxic exposure. *Physiology & Behavior*, 164, 189-197.
- De Rivécourt, M., Kuperus, M. N., Post, W. J., & Mulder, L. J. M. (2008). Cardiovascular and eye activity measures as indices for momentary changes in mental effort during simulated flight. *Ergonomics*, 51(9), 1295-1319.
- Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage*, 63(2), 921-935.
- Frijia, E. M., Billing, A., Lloyd-Fox, S., Rosas, E. V., Collins-Jones, L., Crespo-Llado, M. M., ... & Cooper, R. J. (2021). Functional imaging of the developing brain with wearable high-density diffuse optical tomography: A new benchmark for infant neuroimaging outside the scanner environment. *Neuroimage*, 225, 117490.
- Haarmann, A., Boucsein, W., & Schaefer, F. (2009). Combining electrodermal responses and cardiovascular measures for probing adaptive automation during simulated flight. *Applied Ergonomics*, 40(6), 1026-1040.
- Haier, R. J., Karama, S., Leyba, L., & Jung, R. E. (2009). MRI assessment of cortical thickness and functional activity changes in adolescent girls following three months of practice on a visual-spatial task. *BMC Research Notes*, 2(1), 1-7.
- Hays, R. T., Jacobs, J. W., Prince, C., & Salas, E. (1992). Requirements for future research in flight simulation training: Guidance based on a meta-analytic review. *The International Journal of Aviation Psychology*, 2(2), 143-158.
- Jobsis, F. F. (1977). Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, 198(4323), 1264-1267.
- Harrison, J., Izzetoglu, K., Ayaz, H., Willems, B., Hah, S., Ahlstrom, U., Woo, H., Shewokis, P., Bunce, S.C., Onaral, B. (2014). Cognitive Workload and Learning Assessment During the Implementation of a Next-Generation Air Traffic Control Technology Using Functional Near-Infrared Spectroscopy. *IEEE Transactions in Human-Machine Systems* 44(4), 429-440.
- Harrison, J., Izzetoglu, K., Ayaz, H., Willems, B., Hah, S., Woo, H., . . . Onaral, B. (2013). Human Performance Assessment Study in Aviation Using Functional Near Infrared Spectroscopy. In D. Schmorow & C. Fidopiastis (Eds.), *Foundations of Augmented Cognition* (Vol. 8027, pp. 433-442), Berlin: Springer.
- Heeger, D. J., & Ress, D. (2002). What does fMRI tell us about neuronal activity? *Nature Reviews Neuroscience*, 3(2), 142-151.
- Hoshi, Y., & Tamura, M. (1997). Near-infrared optical detection of sequential brain activation in the prefrontal cortex during mental tasks. *Neuroimage*, 5(4), 292-297.
- Hoshi, Y., & Tamura, M. (1993). Detection of dynamic changes in cerebral oxygenation coupled to neuronal function during mental work in man. *Neuroscience Letters*, 150(1), 5.
- Iadecola, C. (2017). The neurovascular unit coming of age: a journey through neurovascular coupling in health and disease. *Neuron*, 96(1), 17-42.
- ICAO (2014). Safet Report. International Civil Aviation Organization. http://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_2014%20Safety%20Report_final_02042014_web.pdf
- Izzetoglu, K., Ayaz, H., Menda, J., Izzetoglu, M., Merzagora, A., Shewokis, P., Onaral, B. (2011). Applications of Functional Near Infrared Imaging: Case Study on UAV Ground Controller. In D. Schmorow & C. Fidopiastis (Eds.), *Foundations of Augmented Cognition. Directing the Future of Adaptive Systems* (Vol. 6780, pp. 608-617). New York: Springer.
- Izzetoglu, K., Bunce, S., Onaral, B., Pourrezaei, K., & Chance, B. (2004). Functional Optical Brain Imaging Using Near-Infrared During Cognitive Tasks. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 17(2), 211-227.
- Kikukawa, A., Kobayashi, A., & Miyamoto, Y. (2008). Monitoring of pre-frontal oxygen status in helicopter pilots using near-infrared spectrophotometers. *Dynamic Medicine*, 7(1), doi:10.1186/1476-5918-7-10.
- Kobayashi, A., & Miyamoto, Y. (2000). In-flight cerebral oxygen status: continuous monitoring by near-infrared spectroscopy. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 71(2), 177-183.
- Kurihara, K., Kikukawa, A., Kobayashi, A., & Nakadate, T. (2007). Frontal cortical oxygenation changes during gravity-induced loss of consciousness in humans: a near-infrared spatially resolved spectroscopic study. *Journal of Applied Physiology*, 103(4), 1326-1331.
- Mannheimer, P. D. (2007). The light-tissue interaction of pulse oximetry. *Anesthesia & Analgesia*, 105(6), S10-S17.
- Menda, J., Hing, J. T., Ayaz, H., Shewokis, P. A., Izzetoglu, K., Onaral, B., & Oh, P. (2011). Optical brain imaging to enhance UAV operator training, evaluation, and interface development. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 61(1-4), 423-443.
- Millikan, G. A. (1937). Experiments on muscle haemoglobin in vivo; the instantaneous measurement of muscle metabolism. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 123(831), 218-241.
- Millikan, G. (1942). The oximeter, an instrument for measuring continuously the oxygen saturation of arterial blood in man. *Review of Scientific Instruments* 13, 434-444.
- Molavi, B., & Dumont, G. A. (2012). Wavelet-based motion artifact removal for functional near-infrared spectroscopy. *Physiological Measurement*, 33(2), 259.
- Parasuraman, R., & Wickens, C. D. (2008). Humans: Still vital after all these years of automation. *Human factors*, 50(3), 511-520.
- Pifferi, A., Contini, D., Dalla Mora, A., Farina, A., Spinelli, L., & Torricelli, A. (2016). New frontiers in time-domain diffuse optics, a review. *Journal of Biomedical Optics*, 21(9), 091310.
- Pinti, P., Aichelburg, C., Gilbert, S., Hamilton, A., Hirsch, J., Burgess, P., & Tachtsidis, I. (2018). A review on the use of wearable functional near-infrared spectroscopy in naturalistic environments. *Japanese Psychological Research*, 60(4), 347-373.
- Quaresima, V., & Ferrari, M. (2019). Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for assessing cerebral cortex function during human behavior in natural/social situations: a concise review. *Organizational Research Methods*, 22(1), 46-68.
- Ryoo, H. C., Sun, H. H., Shender, B. S., & Hrebien, L. (2004). Consciousness monitoring using near-infrared spectroscopy

- (NIRS) during high+ Gz exposures. *Medical Engineering & Physics*, 26(9), 745-753.
- Salas, E., Bowers, C. A., & Rhodenizer, L. (1998). It is not how much you have but how you use it: Toward a rational use of simulation to support aviation training. *The International Journal of Aviation Psychology*, 8(3), 197-208.
- Scholl, C. A., Chi, Y. M., Elconin, M., Gray, W. R., Chevillet, M. A., & Pohlmeier, E. A. (2016). Classification of pilot-induced oscillations during in-flight piloting exercises using dry EEG sensor recordings. In *2016 IEEE 38th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 4467-4470). IEEE.
- Severinghaus, J.W. & Astrup, P.B. (1986). History of blood gas analysis. *Journal of Clinical Monitoring*, 2(4), 270-288.
- Shewokis, P. A., Ayaz, H., Izzetoglu, M., Bunce, S., Gentili, R. J., Sela, I. & Onaral, B. (2011). Brain in the loop: assessing learning using fNIR in cognitive and motor tasks. In Schmorrow D.D., Fidopiastis C.M. (eds) *Foundations of Augmented Cognition. Directing the Future of Adaptive Systems. FAC 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6780* (pp. 240-249). Berlin: Springer.
- Strangman, G., Boas, D. A., & Sutton, J. P. (2002). Non-invasive neuroimaging using near-infrared light. *Biological Psychiatry*, 52(7), 679-693.
- Sweeney, K. T., Ayaz, H., Ward, T. E., Izzetoglu, M., McLoone, S. F., & Onaral, B. (2012). A methodology for validating artifact removal techniques for physiological signals. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(5), 918-926.
- van Dijk, H., van de Merwe, K., & Zon, R. (2011). A Coherent Impression of the Pilots' Situation Awareness: Studying Relevant Human Factors Tools. *International Journal of Aviation Psychology*, 21(4), 343-356.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449-455.
- Wickens, C. D. (2014). Effort in human factors performance and decision making. *Human Factors*, 56(8), 1329-1336.
- Villringer, A., & Chance, B. (1997). Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function. *Trends in Neurosciences*, 20(10), 435-442.
- Wilson, G. F. (2002). An analysis of mental workload in pilots during flight using multiple psychophysiological measures. *International Journal of Aviation Psychology*, 12(1), 3-18.
- Wilson, G. F., Caldwell, J. A., & Russell, C. A. (2007). Performance and psychophysiological measures of fatigue effects on aviation related tasks of varying difficulty. *International Journal of Aviation Psychology*, 17(2), 219-247.
- Wilson, G. F., & Russell, C. A. (2007). Performance enhancement in an uninhabited air vehicle task using psychophysiological determined adaptive aiding. *Human Factors*, 49(6), 1005-1018.
- Yamada, Y., Suzuki, H., & Yamashita, Y. (2019). Time-domain near-infrared spectroscopy and imaging: A review. *Applied Sciences*, 9(6), 1127.
- Yeh, Y. Y., & Wickens, C. D. (1988). Dissociation of performance and subjective measures of workload. *Human Factors*, 30(1), 111-120.



Kesir Dereceli Sprott-K Kaotik Sisteminin Dinamik Analizi ve FPGA Uygulaması

Kenan Altun^{1*}

^{1*} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7419-1901), kaltun@cumhuriyet.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.922601)

ATIF/REFERENCE: Altun K. (2021). Kesir Dereceli Sprott-K Kaotik Sisteminin Dinamik Analizi ve FPGA Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 392-399.

Öz

Bu makalede, Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array, FPGA) donanımı kullanılarak Sprott-K kaotik sisteminin kesir dereceli analiz ve deneysel uygulaması sunulmaktadır. Çalışmada, Sprott-K kaotik sisteminin ilk olarak Simulink modeli ile elde edilen çeker yapıları gerçekleştirilmiştir. Sprott-K dinamik denklemlerin matematiksel analizleri yapılarak dinamik sistemin kaosa girdiği minimum kesir derecesi belirlenmiştir. Sprott-K kaotik sisteminin tam dereceli kaotik davranışı minimum kesir dereceli sistem ile Simulink benzetimi karşılaştırılmıştır. Sistemin kesir dereceli analizi rasyonel yaklaşım modellerinden Carlson metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Carlson metodu ile sistemin kaosa girdiği kesir derecesi için frekans domenindeki transfer fonksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen frekans domenindeki kesir dereceli transfer fonksiyonları ayrık zaman z transfer fonksiyonuna çevrilmiştir. Sistemin FPGA tasarımı, dinamik yapı Simulink kullanılarak tasarlanmış ve MATLAB'ın HDL kod derleyicisi kullanılarak kod dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Kaotik sistem, derleyiciden elde edilen bit akışı dosyası Xilinx FPGA ZedBoard Zynq-7000 yongasına indirilerek gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, FPGA yapılarının kesir dereceli kaotik sistemler için istenen doğruluk ve yüksek hızlı gerçekleştirmeler sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaos, kesir-derecesi, Carlson metodu, Sprott-K, FPGA, HDL kodlayıcı.

Dynamic Analysis of The Fractional-Order Sprott-K Chaotic System and FPGA Implementation

Abstract

In this article, the fractional-order analysis and experimental application of the Sprott-K chaotic system using Field Programmable Gate Array (FPGA) hardware is presented. In the study, the attractor structures of the Sprott-K chaotic system, which were first obtained with the Simulink model, were realized. Mathematical analysis of Sprott-K dynamic equations was made and the minimum fractional-order at which the dynamic system entered chaos was determined. The integer-order chaotic behavior of the Sprott-K chaotic system is compared with the Simulink simulation of the minimum fractional-order system. Fractional-order analysis of the system was carried out using Carlson method, one of the rational approximation models. Transfer functions in the frequency domain are obtained for the fractional-order in which the system goes into chaos with the Carlson method. Fractional-order transfer functions in the frequency domain obtained have been converted to the discrete time z transfer function. The FPGA design of the system was designed using the dynamic structure Simulink and the code conversion was performed using MATLAB's HDL code compiler. Chaotic system was realized by downloading the bitstream file obtained from the compiler to the Xilinx FPGA ZedBoard Zynq-7000 chip. The results show that FPGA structures provide the desired accuracy and high speed realizations for fractional-order chaotic systems.

Keywords: Chaos, fractional-order, Carlson method, Sprott-K, FPGA, HDL coder.

* Sorumlu Yazar: kaltun@cumhuriyet.edu.tr

1. Giriş

Kaos, kendi içinde belli bir düzen ile hareket etmesine rağmen doğrusal olmayan davranış sergileyen ve dinamik denklemlerle tanımlanan bir bilim dalıdır. Kaos tabanlı osilatör devrelerinin başlangıç değeri hassasiyeti, periyodik olmayan davranışı, tahmin edilmesi zor ve geniş bant aralığına sahip yapısı en önemli özelliklerindedir (Holmes, 1990). Sistem parametrelerindeki küçük bir değişiklik, kaotik sistem davranışında büyük bir farklılığa yol açar. Kaotik sistemler ilk olarak Fransız matematikçi Henri Poincare tarafından tanıtılmıştır. Son zamanlarda tıp, mühendislik ve matematik gibi birçok bilimsel ve endüstriyel kullanım alanlarına sahiptir. Kaos biliminin ilk uygulaması 1960 yılında Edward Lorenz'in hava tahmini probleminin çözümünde kullanılmıştır (Lorenz, 1963). Bu uygulamalar, sinyal üreticileri (Alligood ve ark., 1997), rastgele sayı üretici (Howard, 2004), güvenilir haberleşme (Alvarez ve ark., 2006) ve kontrol sistemlerinde de karşımıza çıkmaktadır (Vaidyanathan, 2016). Özellikle IOT (internet of things) ile ilgili uygulamalarda, karmaşık yapıya sahip kaotik sistemlerin kullanılması bilgi güvenilirliğinin artırılmasına katkı sağlamıştır. Kaotik osilatörlerin ürettikleri sinyaller, gürültü benzeri ve periyodik olmayan davranışlar göstermesi, başlangıç koşullarına ve sistem parametrelerine çok hassas bir şekilde bağlı olması gibi karakteristik özelliklerinden dolayı birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu nedenle literatürde farklı özelliklere sahip birçok kaotik sistem önerilmektedir. Bu kaotik sistemlerden, sistem dinamikleri en iyi bilinenler Lorenz (Lorenz, 1963), Chua (Chua, 1992), Rössler (Rössler, 1976), Duffing sistemleri (Holmes, 1979) ve Chen (Chen ve ark., 1999) osilatörleridir.

Haberleşme sistemlerinde taşıyıcı sinyal olarak kullanılan kaos tabanlı işaretlerin tahmin edilebilirliğinin az olması bilgi sinyalinin elde edilebilmesini zorlaştıracağından haberleşme sisteminin güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca kaos sinyallerinin yayılı spektruma sahip olması, bilgi sinyalinin iletim kanalı boyunca geniş band aralığında taşınacağından güvenli bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla kaos sinyallerinin karmaşık yapısının artması aynı zamanda kullanılan haberleşme sisteminin de yapısını karmaşık hale getirerek bilgi taşıma güvenliğini artırmaktadır. Bu nedenle kaotik tabanlı dinamik denklemlerin analizi ve kaos şartlarının araştırılması önem arz etmektedir. Bir sistemin kaotik davranış sergileyebilmesi için denklem takımında en az üç adet durum değişkeni ve bir adet doğrusal olmayan terim içermelidir (Peitgen ve ark., 2006). Kesir dereceli hesaplama yöntemlerinin doğrusal olmayan dinamik denklemlerin analizinde kullanılmasıyla, doğrusal olmayan bir dinamik sistemin kaotik davranış göstermesi sistem derecesinin üçten küçük olması durumunda da sağlandığı ortaya konmuştur (Petras, 2011). Böylelikle kaotik parametrelere kesir derecesinin de eklenmesiyle kaotik sistemlerin karmaşıklığı artırılmıştır (Petras, 2011).

Kesir dereceli hesaplamalar ilk olarak Leibniz tarafından 1695 yılında incelenmesine rağmen, ilk çalışmalar Liouville ve Riemann tarafından 19. yüzyılın sonlarında ortaya konulmuştur (Oldham ve ark., 1974). Kesir dereceli analiz tanıtılmadan önce, sistem modellemesi tamsayı dereceli analiz ile sınırlıydı. Kesir dereceli analiz ile birlikte birçok problemin çözümüne yönelik ve sistemi daha iyi tanımlayabilen analizler yapılmıştır (Oustaloup ve ark., 2000). Daha öncesinde bu modellemeler tam dereceler yakınsatılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımın sonucu olarak; e-ISSN: 2148-2683

ya düşük mertebeden kesin olmayan modellere ya da aşırı derecede karmaşık yüksek mertebeden modellere neden olmuştur. Kesir dereceli operatörlerin kullanılması, güncel birçok problemlerin geleneksel tamsayı dereceli modellere kıyasla daha kesin bir şekilde modellenmesine izin vermiştir (Petras, 2011). Mühendislik ve fizik alanlarındaki kesir dereceli analiz uygulamaları, sistem kontrol analizi (Caponetto ve ark., 2014), osilatör tasarımı (Rajagopal ve ark., 2018), analog filtreler (Huang ve ark., 2017) ve kaotik sistemler gibi birçok alanda artan ilgi görmektedir.

Başlangıç değeri ve parametre hassasiyeti olan kaotik tabanlı dinamik sistemlerin tam dereceli hesaplama yöntemleriyle temsil edilebilmesi mümkün değildir. Bu nedenle doğrusal olmayan dinamik sistemlerin kesir dereceli analiz yöntemlerinin kullanılmasıyla özellikle kontrol sistemleri ve elektriksel sistemlerin modellenmesi için yapılan çalışmalar artmıştır (Petras ve ark., 2011). Kesir dereceli analiz ile birlikte doğadaki birçok problemin analizi ve modellenmesiyle elde edilen çözüm yöntemlerinin daha kesin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Petras ve ark., 2011). Kesir dereceli sistemlerin ayrık ve pasif devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilebilmesi ise oldukça zordur. Alan Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) teknolojisi, karmaşık sistemlerin tasarımı ve gerçekleştirilebilmesi için önemli çözümler sunmuştur. Özellikle, kesir dereceli sistemlerde türev ve integratörlerin donanımsal gerçekleştiriminde, sistem kalitesinin artırılmasında, donanım maliyetinin azaltılması ve yüksek frekanslarda çalışabilmesine önemli katkı sağlamıştır (Jiang ve ark., 2007).

FPGA yapıları, uygulamaya özel tümleşik devreler (Application Specific Integrated Circuits (ASIC)) için prototip hazırlanmasında kullanılır (Zhang ve ark., 2008). ASIC yapılarında tasarım aşamasında aylar süren uygulama, test, hata ayıklama işlemleri FPGA yapılarında saatler içinde gerçekleştirilebilir. Bu nedenle tasarımda değişiklik yapmak ve sonuçları değerlendirmek kolaydır. Ayrıca, düşük güç tüketimi, düşük maliyet, kolay modifikasyon, gerçek zamanlı hesaplama ve yüksek kapasite FPGA'lerin önemli üstünlükleridir. Ayrıca FPGA yapıları yüksek frekanslarda anahtarlama hızının yanı sıra, paralel işlem yapma kabiliyetine sahiptir. Mikroişlemci ve DSP (Digital Signal Processor) yapılarıdaki sıralı işlem hesaplaması, en az üç adet dinamik denklem içeren kaotik üreticilerin düşük frekanslarda çalışmasına neden olur. FPGA yapıları, kaotik sistemlerin yüksek frekanslarda çalışmasına ve paralel işlem kabiliyeti ile hesaplamaların daha kısa sürede gerçekleştirilmesine imkan sağlar.

Kesir dereceli sistemlerin simülasyon ve deneysel gerçekleştiriminde pasif ve aktif devre elemanlarının kullanılmasındaki zorluklar (Jiang ve ark., 2013), esnek yapıları ve yüksek doğrulukları nedeniyle FPGA yapılarını alternatif bir seçenek haline getirmiştir (Tolba ve ark., 2017). Çalışmada kesir dereceli Sprot-K kaotik osilatörünün nümerik analizi ve FPGA tabanlı deneysel çalışması Xilinx FPGA ZYNq-7000 platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bahsedilen çalışmada, kesir dereceli Sprot-K dinamik sisteminin analizinde Carlson metodu kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde bir kesir dereceli analiz yöntemi olan Carlson metodu açıklanmış ve Sprot-K osilatörünün kesir dereceli analizi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde Sprot-K kaotik sisteminin farklı kesir dereceleri için Carlson metodu kullanarak bilgisayar benzetimi ve kesir dereceli

Sprott-K kaotik osilatörünün FPGA uygulaması gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar verilmiştir. Son bölümde ise benzetim ve deneysel çalışma sonuçları doğrulanmış, gelecek çalışmalar hakkında tartışmalara yer verilmiştir.

2. Kesir Dereceli Analiz

Kesir dereceli analiz, birçok sistem denklemlerinde yer alan türev alıcı ve integratörlerin genel tanımlarının yapılmasını sağlayan matematik alanında yer alan bilim dalıdır (Miller ve ark., 1993). Kesir dereceli analiz, başta kontrol sistemleri olmak üzere birçok sistemin gerçeğe en yakın modellemesinin yapılmasında önemli katkılar vermiştir (Caponetto ve ark., 2014). Analiz yöntemi ilk olarak, Leibniz ve L'Hopital, tarafından 0,5 dereceli türev alıcının araştırılmasıyla başlamıştır (Ross, 1977). Kesir dereceli analizlerde; hesaplama, karmaşık ve zahmetli süreçleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle kontrol sistemlerinin analiz ve simülasyonlarını kolaylaştırmak amacıyla, kesir dereceli operatörlerin tam dereceli transfer fonksiyonlarına yakınsatılması düşünülmüştür. Bunun için literatürde sıkça karşılaşılan ve kullanılan birçok yöntem önerilmiştir (Charef ve ark., 1992).

Kesir dereceli türev hesaplamasında, kesir dereceli türev operatörü komşu tamsayı dereceli türevleri arasında bir enterpolasyon olarak davranır. Kesir dereceli hesaplanan sistemlerde kesir derecesi ekstra bir parametre olarak, tüm sistemin davranışını gerçeğe en yakın modellemek için kullanılır. Kesir dereceli sistemlerin bu özelliği, doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesine önemli katkı sağlamaktadır.

Kesir dereceli sistemlerin analizi için birçok yaklaşım metodu önerilmiştir: Carlson metodu, Matsuda metodu, Oustaloup metodu, Grünwald-Letnikov yaklaşım metodu, vb. (Podlubny, 1999). Gerçekleştirilen bu çalışmada Carlson yaklaşım metodu kullanılmıştır.

2.1. Carlson Metodunun Teorik Analizi

Bu method, Carlson tarafından (Carlson ve ark, 1964) önerilen Newton kanunundan elde edilen ve α kökün yinelemeli yaklaşımı olarak kabul edilebilir. Yöntemin başlangıç noktası, Newton teorisindeki devamlı kesir genişlemesi ilkesine dayanmaktadır. Yöntemde kesir dereceli operatör denklem (1) ile aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$F(s) = s^\alpha, \quad \alpha \in \mathbb{R}. \quad (1)$$

Denklem (2) ile verilen ifadede Newton'un yinelemeli süreci kullanılarak, yaklaşık rasyonel fonksiyon $F_i(s)$ elde edilir. Burada; $s = j\omega$ için kompleks frekansı ve α pozitif kesirli integratör derecesini i kesir derecesinin mertebesini temsil etmektedir.

$$F_i(s) = F_{i-1}(s) \frac{\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) F_{i-1}^{\frac{1}{\alpha}}(s) + \left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) s}{\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) F_{i-1}^{\frac{1}{\alpha}}(s) + \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) s}, \quad i \in \mathbb{N}. \quad (2)$$

$F_0(s) = 1$ olarak başlangıç değeri ile tanımlandığında, $1/\alpha$ 'nın sadece $\pm 2, \pm 3 \dots \pm n, \forall n \in \mathbb{N}$ tamsayı değerleri ile hesaplanması gerekir. Buna göre, sadece $S^{\pm 0,1}, S^{\pm 0,2}$ değerleri hesaplandıktan sonra, $S^{\pm 0,5}$ ve $S^{\pm 1/3}, S^{\pm 1,4}$ v.b. değerler bu yöntemle doğrudan elde edilebilir (Oliveira Valério, 2005).

2.2. Sprott-K Osilatörünün Kesir Derecesi Analizi

Kesir dereceli analizi elde edilecek kaotik osilatörlerden Sprott-K kaotik üretece ait dinamik sistemi Denklem (3) ile verilmiştir (Sprott, 1994). Kaotik sisteme ait dinamik denklemler üç boyut ve yedi terimden oluşmaktadır.

$$\begin{aligned} D_t^{q_1} x(t) &= x(t) \cdot y(t) - z(t) \\ D_t^{q_2} y(t) &= x(t) - y(t) \\ D_t^{q_3} z(t) &= x(t) + 0.3 \cdot z(t), \end{aligned} \quad (3)$$

burada q_1, q_2 ve q_3 kesirli türev alıcının dereceleridir.

Transfer fonksiyonu elde edilecek sistemde, seçilecek minimum kesir derecesi için dinamik sistemin öz değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu öz değerlerin aşağıdaki teorem kullanılarak her bir öz değer için bir kesir derecesi hesaplanır. Sistemin kesir derecesi ise bu değerlerin en büyüğü olarak seçilir (Matignon, 1996).

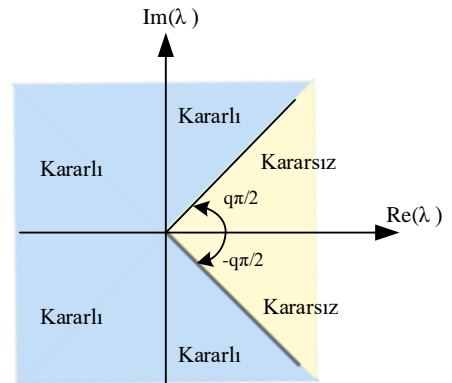
Buna göre;

Öncelikle n boyutlu bir dinamik sistemde her bir boyut için Jacobian matrisleri elde edilerek öz değerleri denklem (4) ile verilen ifade kullanılarak ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) bulunur. Elde edilen her bir öz değer için denklem (5) ile verilen ifadede α kesir derecesi belirlenir. Sistemin kararlılığı kök dereceleri hesaplanarak belirlenir.

$$|\arg(\lambda_i)| > \alpha\pi/2, \quad (4)$$

$$\alpha = \max(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (5)$$

Kaotik tabanlı bir sistem davranışı periyodik davranış sergiliyorsa sistem kararlıdır. Sistemin kararlı olduğu kesir dereceli aralıkta kaotik sistemde kararlı davranış sergileyerek periyodik olacaktır. Sistemin kararsız olduğu ve denklem (4) ile hesaplanan aralıkta ise sistem kaotik davranış sergileyecektir. Kesir dereceli sistemlerin kararlılık teorisi Şekil 1 ile gösterilmiştir. Buna göre kaotik sistemin kararsız durumları daha hassas belirlenerek kaosa girdiği dereceler kesirli olarak ifade edilebilir. Böylelikle kesir derecelerinde de kaotik davranış sergileyen dinamik sistemler elde edilmiş olur.



Şekil 1. Kesir dereceli sistemlerde kararlı bölgeler.

Analizi yapılacak kesir dereceli bir sistemin Jacobian matrisinin öz değerlerinin λ_1, λ_2 ve λ_3 olduğunu varsayalım. Bu durumda her bir öz değer için kesir derecesi hesaplanır. $\arg(\lambda_1), \arg(\lambda_2)$ ve $\arg(\lambda_3)$ elde edilir. Bu durumda sistemin kesir derecesi $\max(q_1, q_2, q_3)$ ifadesinden $\alpha = q_1 = q_2 = q_3$ eşit olur. q_1, q_2 ve q_3 'ün

hepsi α 'dan büyük olduğunda, tüm denge noktaları kararsızdır ve dinamik sistemin kaosa girmesi mümkündür.

Kesir dereceli analizi yapılacak Sprot-K kaotik sisteminde başlangıç şartları $x_0 = 0.5$, $y_0 = 0.5$, $z_0 = 0.5$ olarak alınarak Jacobian matrisinin öz değerleri $\lambda_1 = -1$, $\lambda_2 = 0.15 + i0.988686$ ve $\lambda_3 = 0.15 - i0.988686$ olarak bulunmuştur. Bu durumda her bir öz değer için hesaplanan kesir dereceleri denklem (4)'deki gibi $\arg(\lambda_1) = \pi$, $\arg(\lambda_2) = 1.4203$ ve $\arg(\lambda_3) = -1.4203$ olarak bulunmuştur. Bu durumda kesir derecesi $\max(q_1, q_2, q_3)$ ifadesinden $\alpha = q_2 = q_3 = 0,9041$ eşit olur. Çalışmada dinamik denklemlerin integratör dereceleri birbirine eşit olarak 0,89 - 0,93 aralığında seçilip bir sonraki bölümde simülasyon ve deneysel uygulamada kullanılmıştır.

3. Kesir Dereceli Sprot-K Osilatörü

Sprot-K kaotik osilatörünün analizi neticesinde elde edilen minimum kesir derecesi $\alpha = 0,91$ alınarak Carlson yaklaşım metodu ile s domeninde transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Denklem (7)'de hesaplanan birinci dereceden transfer fonksiyonu için denklem (6) kullanılmış ve $i = 1$, $F_0(s) = 1$ alınarak elde edilmiştir.

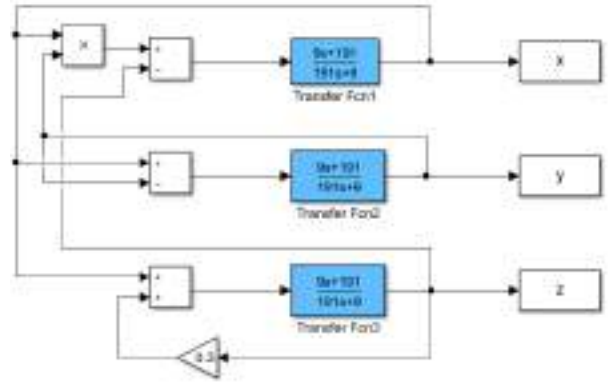
$$F_i(s) = F_{i-1}(s) \frac{\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) F_{i-1}^{\frac{1}{\alpha}}(s) + \left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) s}{\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) F_{i-1}^{\frac{1}{\alpha}}(s) + \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) s}, \quad (6)$$

$$F_1(s) = \frac{9s + 191}{191s + 9}. \quad (7)$$

Elde edilen kesir dereceli transfer fonksiyonu Sprot-K kaotik sistemin Simulink tasarımında kullanılmıştır.

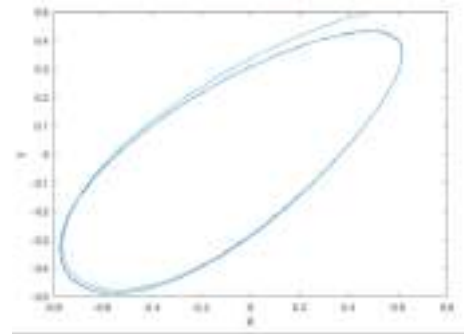
3.1. Sprot-K Sisteminin Bilgisayar Benzetimi

Bir önceki bölümde kesir derecesi ve transfer fonksiyonu belirlenen Sprot-K kaotik sisteminin kaosa girmeden ve girdikten sonra elde edilen kaotik davranışları, faz-uzay gösterimleri ile ortaya konmuştur. Sistemin Simulink modellemesinde tasarım kolaylığı sağlayacağından ilk olarak Laplace domenindeki transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Simulink kullanılarak tasarlanan kesir dereceli Sprot-K kaotik sistemine ait blok şema Şekil 2'de verilmiştir.

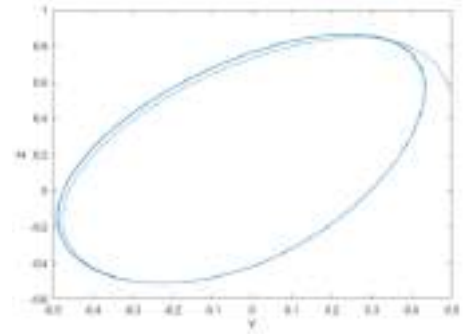


Şekil 2. Kesir dereceli Sprot-K kaotik sistemin Simulink blok şeması.

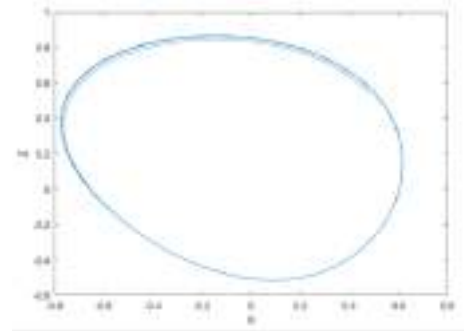
Şekil 3 incelendiğinde Sprot-K sisteminin $q = 0,89$ kesir derecesi için kararlı bir sistem davranışı sergilediği görülmektedir. Her üç faz-uzay gösteriminde de kaos davranış sergilemeyen dinamik sistem çıkışları elde edilmiştir.



(a)



(b)

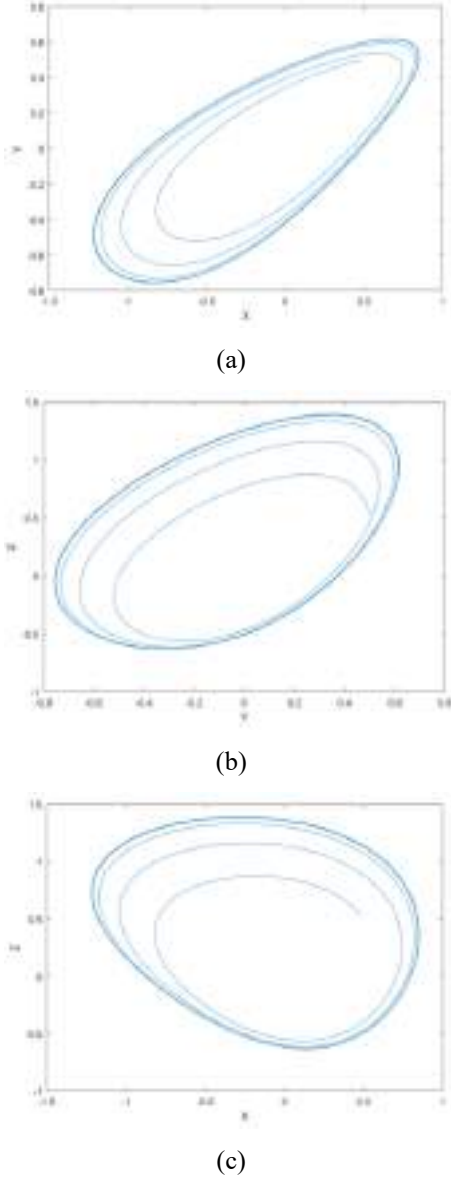


(c)

Şekil 3. Sprot-K kaotik sisteminin $q = 0,89$ kesir derecesi için elde edilen a) x-y, b) y-z, c) x-z faz-uzay gösterimleri.

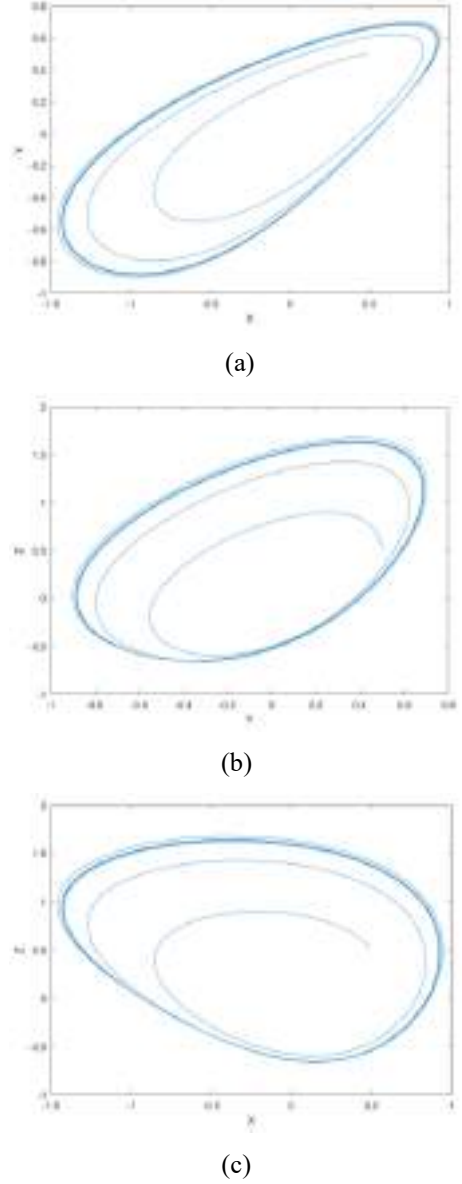
Şekil 4 incelendiğinde Sprot-K sisteminin $q = 0,91$ kesir derecesinde kararsız yapıya geçmeye başladığı ve kararsız bir sistem davranışı sergilediği görülmektedir. Her üç faz-uzay gösteriminde de 3. ve 4. pencerelerin açıldığı gözlemlenmekte ve sistem kaos davranış sergilemeye başlamaktadır.

Sprot-K kaotik sistem için yapılan kaos derecesi analizinde kararsız yapının $q = 0,9041$ kesir derecesinden büyük değerlerde gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Yapılan simülasyon çalışması ile bu değer doğrulanmıştır.



Şekil 4. Sprot-K kaotik sisteminin $q = 0,91$ kesir derecesi için elde edilen a) x-y, b) y-z, c) x-z faz-uzay gösterimleri.

Ayrıca kesir derecesi $q = 0,93$ seçilerek çalışma tekrarlandığında Şekil 5'deki faz-uzay gösterimleri elde edilmiştir. Sistemin kararsız davranışı devam etmekte ve kaotik davranış sergilemektedir.



Şekil 5. Sprot-K kaotik sisteminin $q = 0,93$ kesir derecesi için elde edilen a) x-y, b) y-z, c) x-z faz-uzay gösterimleri.

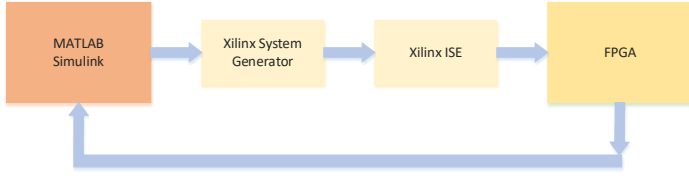
Simülasyon sonuçlarına göre minimum kesir derecesi $q = 0,9041$ değerinin altında sistem periyodik davranış sergilemiştir. Kesir derecesi $q = 0,91$ ve $q = 0,93$ için tekrarlanan simülasyonda sistem kaotik davranış sergilemeye başlamıştır.

3.2. Sprot-K Sisteminin FPGA Gerçekleştirimi

FPGA tabanlı kesir dereceli kaotik sistemlerin birçok uygulaması literatürde gerçekleştirilmiştir (Shah ve ark., 2017). Bu kesir dereceli kaotik sistemler Grünwald-Letnikov metodu kullanılarak MATLAB'ın HDL kodlayıcısı ile FPGA yapılarında gerçekleştirilmiştir (Tolba ve ark., 2017). HDL kodlayıcı Simulink'te Xilinx (Vivado) sistem blokları kullanılarak elde edilmiştir (Günay ve ark., 2018).

Bu çalışmanın amacı, Sprot-K kaotik sisteminin kesir dereceli analiz, simülasyon ve deneysel uygulamasını kapsamaktadır. Sistem parametreleri ve uygun kesir derecesi için kaotik sistem tamsayı dereceli sistem ile benzer karakteristik davranış sergilemektedir. Makale, Carlson metodu kullanılarak elde edilen transfer fonksiyonunun doğrulanmasını

araştırmaktadır. Kaotik sistem, Şekil 6’da verilen blok şemada da gösterildiği gibi ilk önce Simulink tasarımı ile Xilinx system Generator kullanılarak elde edilen VHDL dili Xilinx ISE üzerinden simüle edilmiş ve ardından ZedBoard Zynq-7000 FPGA üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. FPGA tabanlı sistemlerde simülasyon blok şeması.

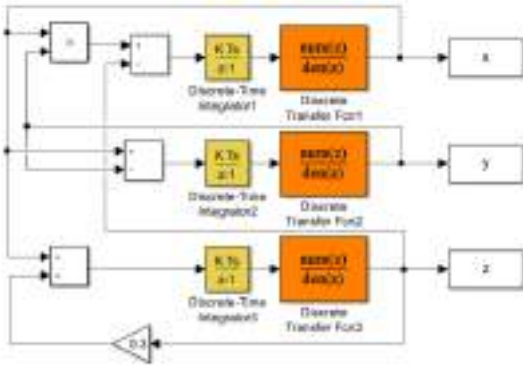
Sprott-K kaotik osilatörünün FPGA tasarımı için ilk olarak s domeninde belirlenen kesir derecesi için elde edilen denklem (8) ile verilen transfer fonksiyonu ayrık zaman domeninde tekrar hesaplanmıştır. Sistemin z transformu, Matlab’da “c2d” komutu kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$F_1(s) = \frac{9s + 191s}{191s + 9} , \quad (8)$$

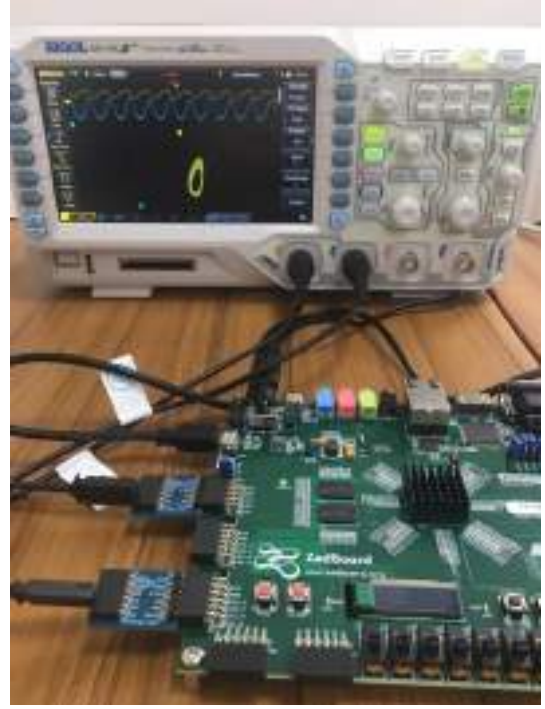
$$\begin{aligned} 'sysd &= c2d(sysc, T_s)' \\ 'sysd &= c2d(sysc, 0,01)' \end{aligned} ,$$

$$F_1(z) = \frac{0,047112 - 0,03712z}{z - 0,9995} . \quad (9)$$

Burada denklem (9)’da verilen z domenindeki transfer fonksiyonu ile Şekil 7’deki Sprott-K kaotik sistemin ayrık zaman Simulink tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın deneysel uygulama devresi ise Şekil 8 ile verilmektedir. Deneysel çalışma sonuçları dijital osiloskop kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 9 ile q = 0,91 kesir derecesi için x-y, y-z ve x-z faz uzay gösterimleri verilmektedir.

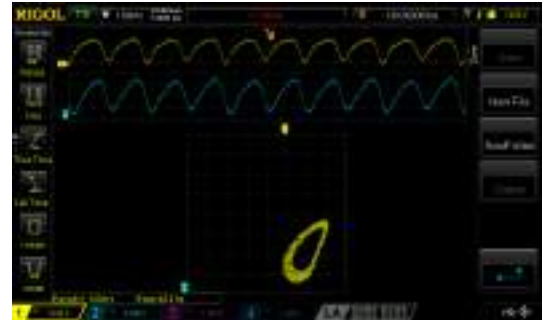


Şekil 7. Kesir dereceli Sprott-K kaotik sistemin ayrık zaman Simulink blok şeması.

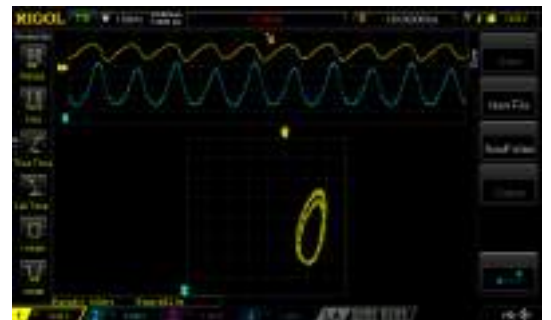


Şekil 8. Kesir dereceli kaotik sistemin FPGA uygulama devresi.

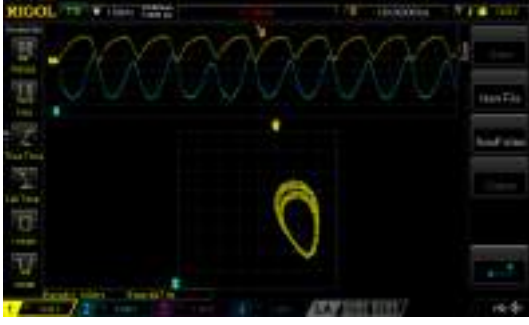
Gerçekleştirilen deneysel çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar, simülasyon sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Carlson metodu ile elde edilen kesir dereceli kaotik sistemin FPGA tabanlı deneysel uygulaması gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 9. Sprott-K kaotik sisteminin $q = 0,91$ kesir derecesi için FPGA platformunda elde edilen a) x-y, b) y-z, c) x-z faz-uzay ve zaman eksenindeki gösterimleri.

FPGA yapıları kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışma ile doğrusal olmayan dinamik sistemlerin yakınsatılmış tam dereceli sonuçları yerine kesir dereceli gerçek sistem davranışları elde edilmiştir. Böylelikle modellenen kaotik sistemin tam olarak davranışları gözlemlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada kesir dereceli kaotik sistemlerin sayısal tabanlı uygulaması sunulmuştur. Sprott-K kaotik osilatörün Carlson metodu kullanılarak minimum kesir derecesi için transfer fonsiyonu elde edilmiştir. MATLAB Simulink kullanılarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Xilinx ZedBoard Zynq-7000 FPGA geliştirme kartı kullanılarak kesir dereceli kaotik sistem tasarım ve deneysel gerçekleştirimi yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçları ile örtüşmektedir.

Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlardan, kesir dereceli kaotik osilatörlerde kesir derecesi yeni bir parametre olarak haberleşme sisteminin tahmin edilebilirliğini zorlaştırmıştır. Ayrıca kesir dereceli kaotik sistemlerin hiper kaotik davranış sergilediği de gözlemlenmiştir. Bu durum haberleşme sistemleri için kanal sayısının artmasını ve bit hata oranının azalmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Bir sonraki çalışma, elde edilen bu sonuçlar dikkate alınarak hedeflenmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından SMYO-029 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynakça

Alligood, K. T., Sauer, T. D., & Yorke, J. A. (1997). Chaos in differential equations. In *Chaos* (pp. 359-397). Springer, Berlin, Heidelberg.

Alvarez, G., & Li, S. (2006). Some basic cryptographic requirements for chaos-based cryptosystems. *International journal of bifurcation and chaos*, 16(08), 2129-2151.

Caponetto, R., Dongola, G., Maione, G., & Pisano, A. (2014). Integrated technology fractional order proportional-integral-derivative design. *Journal of Vibration and Control*, 20(7), 1066-1075.

Carlson, G., & Halijak, C. (1964). Approximation of fractional capacitors $(1/s)^{1/n}$ by a regular Newton process. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 11(2), 210-213.

Charef, A., Sun, H. H., Tsao, Y. Y., & Onaral, B. (1992). Fractal system as represented by singularity function. *IEEE Transactions on automatic Control*, 37(9), 1465-1470.

Chen, G., & Ueta, T. (1999). Yet another chaotic attractor. *International Journal of Bifurcation and chaos*, 9(07), 1465-1466.

Chua, L. O. (1992). *The genesis of Chua's circuit*. Berkeley, CA, USA: Electronics Research Laboratory, College of Engineering, University of California.

Günay, E., & Altun, K. (2018). Güvenilir Haberleşmede Açık Kapalı Kaotik Anahtarlama Sisteminin FPGA Kullanılarak Gerçekleştirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 559-571.

Holmes, P. (1979). A nonlinear oscillator with a strange attractor. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 292(1394), 419-448.

Holmes, P. (1990). Poincaré, celestial mechanics, dynamical-systems theory and "chaos". *Physics Reports*, 193(3), 137-163.

Howard, R. M. (2004). *Principles of random signal analysis and low noise design: The power spectral density and its applications*. John Wiley & Sons.

Huang, X., Zhang, B., Qin, H., & An, W. (2017). Closed-form design of variable fractional-delay FIR filters with low or middle cutoff frequencies. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 65(2), 628-637.

Jiang, C. X., Carletta, J. E., & Hartley, T. T. (2007). Implementation of fractional-order operators on field programmable gate arrays. In *Advances in fractional calculus* (pp. 333-346). Springer, Dordrecht.

Jiang, C. X., Carletta, J. E., Hartley, T. T., & Veillette, R. J. (2013). A systematic approach for implementing fractional-order operators and systems. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 3(3), 301-312.

Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of atmospheric sciences*, 20(2), 130-141.

Maignon, D. (1996, July). Stability results for fractional differential equations with applications to control processing. In *Computational engineering in systems applications* (Vol. 2, No. 1, pp. 963-968).

Miller, K. S., & Ross, B. (1993). *An introduction to the fractional calculus and fractional differential equations*. Wiley.

Oldham, K., & Spanier, J. (1974). *The fractional calculus theory and applications of differentiation and integration to arbitrary order*. Elsevier.

Oliveira Valério, D. P. M. (2005). Fractional robust system control. *Universidade Técnica de Lisboa*.

Peitgen, H. O., Jürgens, H., & Saupe, D. (2006). *Chaos and fractals: new frontiers of science*. Springer Science & Business Media.

Petráš, I. (2011). Fractional-order chaotic systems. In *Fractional-order nonlinear systems* (pp. 103-184). Springer, Berlin, Heidelberg.

Petráš, I. (2011). *Fractional-order nonlinear systems: modeling, analysis and simulation*. Springer Science & Business Media.

Podlubny, I. (1999). An introduction to fractional derivatives, fractional differential equations, to methods of their solution and some of their applications. *Mathematics in science and engineering*, 198, xxiv+340.

- Rajagopal, K., Akgul, A., Jafari, S., & Aricioglu, B. (2018). A chaotic memcapacitor oscillator with two unstable equilibriums and its fractional form with engineering applications. *Nonlinear Dynamics*, 91(2), 957-974.
- Ross, B. (1977). The development of fractional calculus 1695–1900. *Historia Mathematica*, 4(1), 75-89.
- Rössler, O. E. (1976). An equation for continuous chaos. *Physics Letters A*, 57(5), 397-398.
- Shah, D. K., Chaurasiya, R. B., Vyawahare, V. A., Pichhode, K., & Patil, M. D. (2017). FPGA implementation of fractional-order chaotic systems. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 78, 245-257.
- Sprott, J. C. (1994). Some simple chaotic flows. *Physical review E*, 50(2), R647.
- Tolba, M. F., AbdelAty, A. M., Soliman, N. S., Said, L. A., Madian, A. H., Azar, A. T., & Radwan, A. G. (2017). FPGA implementation of two fractional order chaotic systems. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 78, 162-172.
- Vaidyanathan, S. (2016). Generalized projective synchronization of vaidyanathan chaotic system via active and adaptive control. In *Advances and Applications in Nonlinear Control Systems* (pp. 97-116). Springer, Cham.
- Zhang, Y., Liu, Z., & Zheng, X. (2008, December). A chaos-based image encryption ASIC using reconfigurable logic. In *APCCAS 2008-2008 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems* (pp. 1782-1785). IEEE.



Plaka Tip Isı Değiştiricide Grafit/Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi

Muhammet Kahveci¹, Tarkan Koca^{2*}

¹ Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3991-0960), m_kayfeci1984@hotmail.com

^{2*} Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6881-4153), tarkan.koca@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.925777)

ATIF/REFERENCE: Kahveci, M., Koca, T. (2021). Plaka Tip Isı Değiştiricide Grafit/Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 400-405.

Öz

Isı transferini artırmak ve basınç düşüş değerini en aza indirmek, ısı değiştirgeçlerinin ısı performansını iyileştirmek açısından önemli olup üzerinde çok sayıda çalışma yapılan bir konudur. Isı transfer oranını artırmak için, üstün termofiziksel özellikli nanoakışkanlar ısı değiştiricilerinde kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada birleşik sıcak su hazırlama sisteminde bulunan plakalı ısı değiştiricisinde grafit-su nanoakışkan kullanımının ısı transferine, etkinlik katsayısına ve iyileştirme oranına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada soğuk su debileri 4, 5, 6, 7 l/dk, sıcak akışkan giriş sıcaklıkları ise 40, 45, 50, 55, 60°C olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hacimce %0.25 nanoakışkan oranında en yüksek iyileştirme oranı 4 l/dk debi değerinde %9,42 olarak elde edilirken, debi arttıkça ısı transferinin arttığı ve iyileştirme oranının düştüğü belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Plakalı ısı değiştiricisi, Grafit, Saf su, Etkinlik.

The Effect of Graphite/Pure Water Nanofluid Usage on Thermal Performance in Plate Type Heat Exchanger

Abstract

Increasing the heat transfer and minimizing the pressure drop value is important in terms of development the thermal performance of heat exchangers, and it is a subject that a large number of studies conducted. To increase the heat transfer rate increase the heat transfer rate, nanofluids with superior thermophysical properties are used in heat exchangers. In this study, the effect of graphite-water nanofluid use on heat transfer, efficiency coefficient and improvement rate in the plate heat exchanger in the combined hot water preparation system was investigated experimentally. In the study, cold water flows were taken as 4, 5, 6, 7 l/min and hot fluid inlet temperatures as 40, 45, 50, 55, 60°C. According to the results, while the highest improvement rate was achieved at a rate of 0.25% nanofluid by volume, 9,42% at a volumetric flow rate of 4 l/min, it was determined that the heat transfer increased and the recovery rate decreased as the flow rate increased.

Keywords: Nanofluid, Plate heat exchanger, Graphite, Pure water, Effectiveness

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte endüstriyel alanda kullanılan makinalarda büyük değişimler olmuştur. Kullanılan ekipmanların ısıtma, soğutma talepleri bir taraftan artarken diğer taraftan da boyutlarının minyatürleşmesi istenmektedir. Bu nedenle endüstriyel makinalarda ısı verimi arttırmak için çalışmalar yapmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Malzeme biliminin gelişmesiyle birlikte nano büyüklükte partiküller üretilebilir hale gelmiştir. Nano boyuttaki malzemeler daha dayanıklı, daha hafif ve daha iyi ısı ve elektrik iletme özelliklerine sahiptirler. Bütün bu özelliklerinden dolayı nano partiküller baz akışkana ilave edilmeye başlanmış ve nanoakışkanlar üretilmiştir. Nanoakışkan; akışkan içerisine nano büyüklükteki parçacıkların süspansiyonu ile elde edilir. Bütün bu alanlarda kullanılan su, yağ, glikol ve etilen gibi sıvılar baz akışkan, içerisine ilave edilen nano büyüklükteki parçacıklar ise nano parçacık olarak adlandırılmaktadır. Temel akışkan olarak çoğunlukla su kullanılmasına rağmen etilen, glikol ve mineral yağ da kullanılmaktadır. Parçacık olarak ise metal ve metal oksitler kullanılmaktadır. Yaklaşık son 20 yıldır ısı transferinin iyileştirilmesi amacıyla milimetre boyutunda parçacıklar baz akışkana eklenmektedir. Ancak bu parçacıklar kullanılan sistemde aşınmalara, basınç düşüşlerine, aşırı gürültü, titreşim ve çökme gibi sebeplere yol açmaktadır. Buna rağmen kullanılan sistemde ısı transfer hızındaki artış bu olumsuzlukların göz ardı edilmesine neden olmuştur. Akışkan içine süspansiyon edilen parçacık, akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini arttırmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı günümüzde bilim insanları nanoakışkanlar üzerine yoğun bir şekilde çalışmaktadır.

Chun ve ark., (2008), çift borulu paralel akışlı bir ısı eşanjöründe laminar akış rejiminde ısı eşanjör sisteminden akan alümina nano parçacık ve transformatör yağından yapılmış nano akışkanların konvektif ısı transfer katsayısını araştırmışlardır. Deneysel veriler, sıvıya nano partiküllerin eklenmesinin, sistemin laminar akıştaki ortalama ısı transfer katsayısını arttırdığını göstermiştir. Nano partiküllerin yüzey özellikleri, partikül yükü ve partikül şeklinin nano akışkanların ısı transfer özelliklerini arttırmak için en önemli özellikler olduğunu belirtmişlerdir. Bhattad ve ark., (2018), ısı transferi ve basınç düşüşü özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için farklı konsantrasyonlarda hibrit nanoakışkan ($Al_2O_3 + MWCNT / su$) kullanarak plakalı ısı eşanjörü üzerinde sayısal ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Hibrit nano akışkan kullanarak, ısı transfer katsayısı %39,16 artmış ve pompalama gücünde %1,23'lük bir artış olmuştur. Bu nedenle baz akışkan yerine hibrit akışkan kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Sarafraz ve Hormozi (2016), Chevron tipi bir ısı eşanjörü içindeki çok duvarlı karbon nanotüp nanoakışkanlara, zorlanmış konveksiyonla ısı transferini arttırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Su içinde çok duvarlı karbon nanotüplerin varlığı, saf su ile karşılaştırıldığında ısı iletkenlik katsayısı %68'e artmıştır. Zamzaman ve ark., (2011), alümina-etilen glikol ve bakır oksit-etilen glikol nanoakışkanlarını, farklı konsantrasyonlarda hazırlamışlar ve nanoakışkanların ısı özelliklerini tespit etmek için türbülanslı akışta, 45°C, 60°C ve 75°C'lik üç çalışma sıcaklıklarında çift borulu ve plakalı ısı eşanjörlerinde deneyler yapmışlardır. Yapılan deneylerde en büyük ve en küçük artışlar sırasıyla %49 ve %3 olarak görülmüştür. Varyenli ve Sarı (2016), yaptıkları çalışmalarında saf su- MgO kullanmışlardır. Yapılan deneylerde MgO-su nanoakışkanında debi artışına bağlı olarak etkinlik katsayısı artmıştır. Huang ve ark., (2016), alümina nano

partiküller ve çok duvarlı karbon nanotüpler içeren hibrit bir nanoakışkan karışımının ısı transferi ve basınç düşüşü özelliklerini, plakalı ısı eşanjöründe deneysel olarak incelemişlerdir. Aynı akış hızında hibrit nanoakışkan karışımının ısı transfer katsayısı Al_2O_3 -su nanoakışkan ve suyunkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada saf su ve grafit-su nano akışkanı deney akışkanı olarak seçilmiştir. Nanoakışkan elde edilirken grafitin hacimsel konsantrasyonu %0,25 olarak alınmıştır. Soğuk su debisine bağlı olarak nanoakışkanın ısı transferi, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranı incelenmiştir. Soğuk su debileri 4, 5, 6, 7 l/dk olarak ayarlanmış olup, sıcak akışkan giriş sıcaklıkları ise 40, 45, 50, 55, 60°C olarak alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmada değişkenler literatüre uygun olarak seçilmiştir. Çalışmada konut ısıtılmasında kullanılan birleşik sıcak su hazırlama sistemi kullanılmıştır. Isı değiştiricisi tipi plaka tip eşanjördür. Deneysel çalışmalarda plakalı ısı değiştiricilerinde nanoakışkan kullanımının ısı transferine etkisi değerlendirilmiş olup etkinlik katsayıları ve iyileştirme oranları hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Sistem

Deney seti İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Isı Laboratuvarına kurulmuş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada saf su içerisine hacimce %0,25 oranında grafit nano partikülü eklenerek, ısı transferi, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranı incelenmiştir. Deney setinin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Deney seti; 8 plakaya sahip levhalı tip ısı değiştirici, ısıtıcı sistem, debi ölçer, sıcaklık ölçer, veri kayıt sistemi, bilgisayar ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Isıtma sistemi LPG'li tip olup farklı ısı yüklerine ayarlanabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Akışkan sirkülasyonunu sağlamak ve akışkanı basınçlı şekilde sistemde dolaştırmak için 3 kademeli pompa kullanılmıştır. Pompanın debisi 18 l/dk'dır. Deney setine giren akışkanın debisini ayarlayabilmek için giren soğuk akışkanın girişine 1 adet ayarlı tip vana yerleştirilmiştir. Vananın hemen çıkışında, suyun hacimsel debisini ölçebilmek için debimetre kullanılmıştır. Sisteme giren soğuk akışkanın, sistemden çıkan sıcak akışkanın, plakalı eşanjöre giren soğuk ve sıcak akışkanın sıcaklığını ölçmek için 4 adet Tekon marka K tipi termokupl kullanılmıştır. Plakalı ısı değiştirici içindeki akışkanı tahliye etmek ve sisteme 1,5 bar olacak şekilde nanoakışkan doldurabilmek için için U by-pass hattının her iki tarafına da vanalı tip giriş çıkış hattı koyulmuştur. Sisteme hazırlanmış olan akışkanın doldurulabilmesi için basıncı elle arttırılabilen, kapasitesi 4 bar olan ve sıvı akışkan koyulabilecek hazneye sahip el pompası eklenmiştir. Sisteme nanoakışkan bu pompa vasıtasıyla doldurulmuştur. 4 adet Tekon marka termokupl'dan gelen bilgiler Picolog marka TC-08 modelindeki veri kayıt cihazının yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 1. Deney setinin şematik gösterimi

Deney setinin farklı açılardan fotoğrafları Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. Deney Setinin Görünümü

2.2. Deneyde Kullanılan Nano Partikül ve Saf Suyun Özellikleri

Nano parçacıklar kimyasal yapıları farklı olan malzemeler kullanılarak üretilmekte olup, metaller, seramikler, silikatlar, metal oksitler, organik ve karbon malzemeler örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada grafit nano partikülleri kullanılarak nanoakışkan oluşturulmuştur. Nanoakışkanı oluşturmak için kullanılan grafit nano partikülüne ve saf suya ait termofiziksel özellikler Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Grafit Nano Partikülün ve Saf Suyun Termofiziksel Özellikleri

Özellikler	Grafit	Saf Su
ρ (kg/m ³)	2300	992
C_p (J/kgK)	711	4182
k (W/mK)	168	0,618
μ (mPa.s)	-	0,62

2.3. Deneyde Kullanılan Nanoakışkanın Hazırlanması

Deney setinde kullanılan grafit nano partikülleri Nanografi firmasından temin edilmiştir. Nanoakışkan İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında hazırlanmıştır. Grafit nano partiküller istenen hacimsel konsantrasyonda karışım yapabilmek için 0,1 mg hassasiyetli hassas terazi kullanılmıştır. Daha sonra kütle oran hacimsel orana dönüştürülmüştür. Hacimce %0,25 konsantrasyonunda nanoakışkan hazırlamak amacıyla 4 litre saf suya 23 gr grafit parçacıkları ilave edilmiştir. Grafit-su nanoakışkanı iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Bu yöntemde temel akışkan ile nano parçacıkların kümeleşmesini ve çökelmeyi engellemek için ultrasonifikatör cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile ultrasonik titreşimler meydana getirilmektedir. Tartım işlemi yapılan grafit nano parçacığı temel akışkan saf su ile karıştırılmış ve nanoakışkanın kararlılığının elde edilebilmesi için 5 saatlik süre esnasında 63 Hz’lik frekansa ve 400 watt güce sahip Hiel Sher Up 400 ST ultrasonifikatör cihazında bekletilmiştir. Grafit nano parçacıklarının birbirine yaklaşmasını ve çökelmeyi engellemek için 0,69 g benzen sülfonat eklenerek Ika T25 digital homojenizatör cihazında mekanik olarak 3 saat boyunca 3000 dev/dak bekletilmiştir. Nanoakışkanın hazırlanmasında yapılan işlemlere ait resimler Şekil 3’te gösterilmektedir.



Şekil 3. Ultrasonifikatör ve Homojenizatör

2.4. Teorik Analiz

Nanoakışkan yoğunluğu Pak ve Choi modeli ile tahmin edilmekte olup denklem 1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Pak ve Choi, 1998). Burada ρ yoğunluk, n nano partikülleri, f temel sıvıyı ve n_f nano sıvıyı simgelemektedir. Nano partiküllerin hacimsel oranı (ϕ) ile gösterilmektedir.

$$\rho_{nf} = \phi \cdot \rho_n + (1 - \phi) \cdot \rho_f \quad (1)$$

Nanakışkanın özgül ısısı, Xuan ve Roetzel modeli kullanılarak denklem 2 ile hesaplanmaktadır (Xuan ve Roetzel, 2000). Burada C_p özgül ısıdır.

$$C_{p,nf} = \frac{\phi \cdot (\rho_n \cdot C_{p,n}) + (1 - \phi) \cdot (\rho_f \cdot C_{p,f})}{\rho_{nf}} \quad (2)$$

Hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliği Maxwell-Garnet modeli kullanılarak denklem 3 ile belirlenmektedir (Maxwell ve Garnett, 1904). Burada k termal iletkenliktir.

$$k_{nf} = k_f \frac{k_n + 2k_f - 2\phi(k_f - k_n)}{k_n + 2k_f + \phi(k_f - k_n)} \quad (3)$$

Nano partiküllerin hacimsel oranı denklem 4 ile hesaplanmaktadır. Burada m_n ve m_f nano partiküllerin ve temel sıvının kütesidir.

$$\phi = \frac{m_n / \rho_n}{m_n / \rho_n + m_f / \rho_f} \quad (4)$$

Transfer edilen ısı miktarı denklem 5 ile kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada Q , ısı transferi miktarı, \dot{m} , kütlele debi c_{pc} , c_{ph} sırasıyla soğuk ve sıcak akışkanın özgül ısısıdır.

$$Q = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho}) = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \cdot (T_{ci} - T_{co}) \quad (5)$$

Plaka tip ısı değiştiricisinde sıcak ve soğuk suyun ısı kapasitesi denklem 6 ve denklem 7 ile hesaplanmaktadır.

$$C_{hot} = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \quad (6)$$

$$C_{cold} = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \quad (7)$$

Isı değiştiricisinde gerçekleştirilebilecek maksimum ısı transferi miktarını bulmak için bu değerlerden küçük olan değer C_{min} olarak kullanılır. Denklem 8 ile hesaplanan Q_{max} plakalı ısı değiştiricisinde gerçekleştirilebilecek maksimum ısı transferi miktarıdır.

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{hi} - T_{ci}) \quad (8)$$

Isı değiştiricinin etkinliği denklem 9 ile hesaplanır. Burada ϵ etkinlik katsayısıdır (Selbaş ve ark., 2009).

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (9)$$

İyileştirme oranı denklem 10 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{İyileştirme Oranı} = \frac{(\epsilon_{Grafit} - \epsilon_{Su})}{\epsilon_{Su}} \quad (10)$$

2.5. Ölçüm Hassasiyetleri

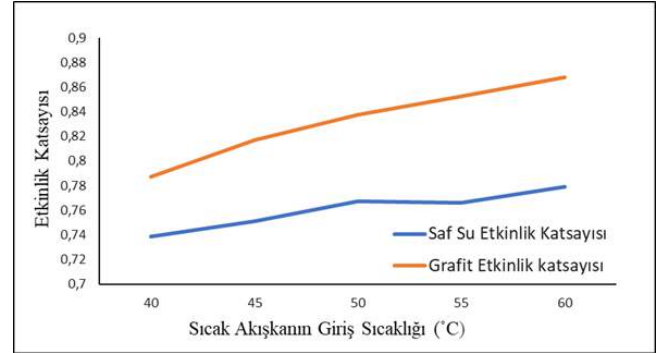
Plakalı ısı değiştiricisinde nanokışkan ve saf su ile yapılan deneylerde soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları ve debisi, sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve debisi ölçümleri tekrarlanarak yapılmıştır. Test edilen ve ölçüm yapan cihazlara ait katalog değerlerinden elde edilen hassasiyetler Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Ölçüm Cihazlarının Hassasiyetleri

Cihazlar	Teknik Özellikler	Hassasiyet
Sıcaklık ölçer	Ölçüm aralığı -200 /1200°C	±0,1 °C
Hacimsel debi ölçer	2-18 l/dk	%4
Hassas terazi	Kapasite: 6000 gr	±0,01mg
Veri kayıt cihazı	8 kanallı, -270/1820°C kapasiteli	±0,001 °C

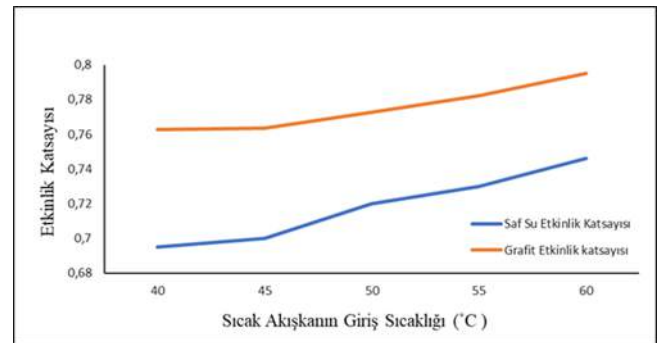
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 4’te soğuk akışkanın debisi 4 l/dk iken, sıcak ve soğuk akışkanın etkinlik katsayısı sıcak akışkanın giriş sıcaklığının yükselmesiyle doğru orantılı artmıştır. Plakalı ısı değiştiricisine 40°C sıcaklıkta giren grafit-su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde etkinlik 0,787 iken, saf su ile yapılan deneylerde etkinlik 0,739 olarak görülmektedir.



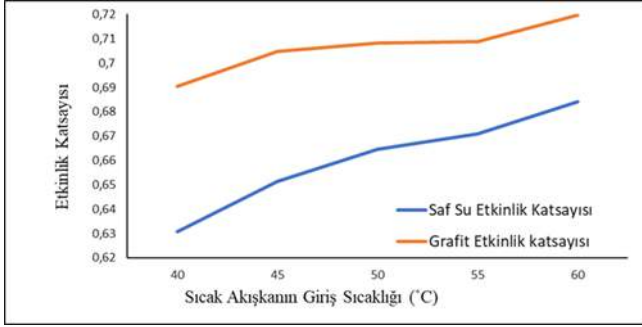
Şekil 4. Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığı -Etkinlik Katsayısı Değişimi (Debi 4 l/dk)

Şekil 5’te görüldüğü gibi soğuk akışkan debisinin 5 l/dk olduğu deneylerde, grafit-su nanoakışkanın etkinlik katsayısı sıcak akışkanın giriş sıcaklığının artmasıyla doğru orantılı olarak artmış, saf suyun etkinlik katsayısı ise 40-50°C aralığında sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermiş, bu artış 50°C ile 55°C sıcaklıklar arasında ise minimum düzeyde kalmıştır. Daha sonra sıcaklığa bağlı olarak artmaya devam etmiştir. 40°C giriş sıcaklığında grafit-su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde etkinlik 0,735 iken, saf su ile yapılan deneylerde etkinlik 0,699 olarak görülmüştür.



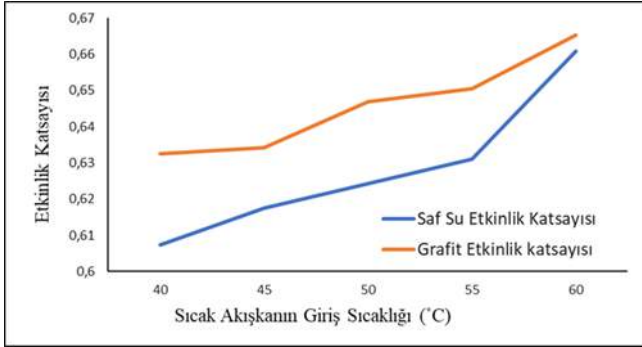
Şekil 5. Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığı -Etkinlik Katsayısı Değişimi (Debi 5 l/dk)

Şekil 6’da soğuk akışkan debisinin 6 l/dk olduğu deneylerde, sıcak ve soğuk akışkanın etkinlik katsayısı sıcak akışkanın giriş sıcaklığına bağlı olarak artışı görülmektedir. 40°C giriş sıcaklığında grafit-su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde etkinlik 0,690 iken, saf su ile yapılan deneylerde etkinlik 0,630 olarak görülmüştür.



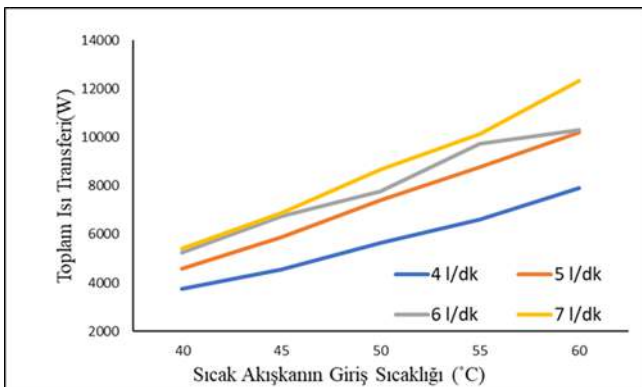
Şekil 6. Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığı -Etkinlik Katsayısı Değişimi (Debi 6 l/dk)

Şekil 7’de debi 7 l/dk olarak alınmış olup, her iki akışkanın etkinlik katsayısı sıcak akışkanın giriş sıcaklığının artmasıyla doğru orantılı olarak yükseldiği gösterilmektedir. Giriş sıcaklığının 40°C olduğu grafit- su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde etkinlik 0,632 iken, saf su ile yapılan deneylerde etkinlik 0,607 olarak tespit edilmiştir.



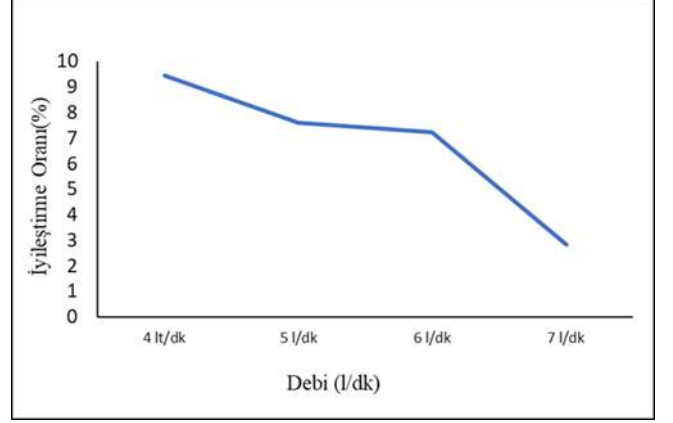
Şekil 7. Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığı -Etkinlik Katsayısı Değişimi (Debi 7 l/dk)

Toplam ısı transferinin değişimi, farklı akışkan debileri ve farklı sıcaklıklara bağlı olarak Şekil 8’de verilmiştir. Debinin artışına bağlı olarak toplam ısı transferi miktarı da artmıştır. 4, 5, 6 ve 7 l/dk debilerde; 40°C sıcak akışkan giriş sıcaklıklarında toplam ısı transferi sırasıyla 3758 W, 4567 W, 5263 W ve 5401 W olurken, 60°C giriş sıcaklığında 7917 W, 10199 W, 10298 W ve 12321 W olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Farklı Akışkan Debileri İçin Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığına Bağlı Toplam Isı Transferi Miktarı

Şekil 9’da zıt yönlü paralel akışlı plakalı ısı değiştiricide, farklı debilerde yapılan deneylerde saf su yerine grafit-su nanoakışkanı kullanıldığı durumda ortalama iyileştirme oranı grafiği görülmektedir. 4, 5, 6, 7 l/dk debi değerlerinde ortalama iyileştirme oranı sırasıyla %9,42, %7,59, %7,21 ve %2,85 olarak hesaplanmıştır. Debinin artışına bağlı olarak iyileştirme oranının azaldığı görülmektedir.



Şekil 9. Debiye Göre İyileştirme Oranı Değişimi

4. Sonuç

Yapılan bu çalışma ile su içinde grafit nano partiküllerin varlığının, ısı transferi, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla su içerisine hacimce %0,25 oranında nano partikül eklenmiş ve toplam ısı transferi, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranı incelenmiştir. Deneylerden elde edilen etkinlik katsayıları ve iyileştirme oranı değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Etkinlik Katsayıları ve İyileştirme Oranları

Akışkan Tipi	Debi l/dk	Sıcaklıklara Göre Etkinlik Katsayısı					İyileştirme Oranı (%)
		40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	
Saf su	4	0,739	0,75	0,767	0,765	0,779	9,42
Nanoakışkan		0,787	0,817	0,837	0,852	0,867	
Saf su	5	0,695	0,699	0,72	0,73	0,746	7,59
Nanoakışkan		0,762	0,763	0,772	0,782	0,794	
Saf su	6	0,63	0,651	0,664	0,67	0,684	7,21
Nanoakışkan		0,69	0,704	0,708	0,708	0,719	
Saf su	7	0,607	0,617	0,624	0,631	0,66	2,85
Nanoakışkan		0,632	0,634	0,646	0,65	0,665	

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 4, 5, 6, 7 l/dk soğuk akışkan debileri için nanoakışkanın etkinlik katsayısı saf suyla kıyaslandığında önemli ölçüde artmıştır. Fakat debinin artmasına bağlı olarak etkinlik katsayısının artış miktarı giderek azalmıştır. Toplam ısı transferi 4, 5, 6, 7 l/dk debileri için debinin ve sıcaklığın artışıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Ortalama iyileştirme oranı ise 4 l/dk debide en yüksek değerine ulaşmış olup, debinin artmasına bağlı olarak bu değer düşme eğilimine girmiştir. Bu sonuçlara göre nanoakışkan ile saf su karşılaştırıldığında, plakalı ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımı ile ısı verimliliğinde önemli iyileştirmeler sağlanmıştır. Isıl verimlilikte nanoakışkanların termofiziksel özellikleri, nanoakışkanın konsantrasyon seviyesi, ısı değiştiricinin geometrisi etkili olup, sıcaklıklar ve akışkan debisi gibi çalışma koşulları da önemli etkenlerdir. Nanoakışkan kullanımının

olumsuz yönleri ise maliyetin yüksek olması, uygun oranda hazırlanmaması durumunda çökme, tortulaşma gibi durumlardır. Özellikle nanoakışkanlarda çökmenin olmaması için karışım hazırlama işlemine oldukça önem verilmeli ve hassas davranılmalıdır. Isı değiştiricilerinde deneysel çalışma yapacak araştırmacıların belirtilen durumları göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Isı değiştiricilerinde nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşüşü üzerindeki etkisini araştırmak için farklı konsantrasyonlarda grafit-su nanoakışkanı kullanılarak yeni çalışmalar yapılabilir. Ayrıca plaka tip ısı değiştiricilerinde farklı tip nanoakışkan kullanarak nanoakışkanlar ısıl performans açısından karşılaştırılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışmayı (FYL-2020-2253) proje kodu ile destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz. Ayrıca nanoakışkan İnönü üniversitesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında hazırlanmış olup, bu konuda yardımcı olan Prof. Dr. Ali Adnan Hayaloğlu'na teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Bhattad, A., Sarkar, J., Ghosh, P. (2018). Discrete phase numerical model and experimental study of hybrid nanofluid heat transfer and pressure drop in plate heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 91, 262-273.
- Chun B.H., Kang H.U., Kim S.H. (2008). Effect of alumina nanoparticles in the fluid on heat transfer in double-pipe heat exchanger system. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25(5), 966-971.
- Huang, D., Wu, Z. (2016). Sunden B, Effects of hybrid nanofluid mixture in plate heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 72, 190-196.
- Maxwell, J.C., Garnett, J.C. (1904). Colours in metal glasses and in metallic films. *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 203, 385-420.
- Pak, B.C., Choi, Y.I. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle. *Experimental Heat Transfer and International Journal*, 11 (2), 151-170.
- Sarafraz, M.M., Hormozi, F. (2016). Heat transfer pressure drop and fouling studies of multi-walled carbon nanotube nanofluids inside a plate heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 72, 1-11.
- Selbaş, R., Sencan, A.M., Kılıç, B. (2009). Alternative approach in thermal analysis of plate heat exchanger. *Heat and Mass Transfer*, 45, 323-329.
- Variyenli, H.İ., Sarı, Y. (2016). Magnezyum oksit ile saf suyun plaka tip ısı değiştiricideki ısıl performanslarının deneysel incelenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(3), 147-170.
- Xuan, Y., Roetzel, W. (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(19), 3701-3707.
- Zamzamian, A., Oskouie, S.N., Doosthoseini, A., Joneidi, A., Pazouki, M. (2011). Experimental investigation of forced convective heat transfer coefficient in nanofluids of Al₂O₃/EG and CuO/EG in a double pipe and plate heat exchangers under turbulent flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 495-502.



Uzaktan Eğitimde Kullanılan Bulanık Mantık Tabanlı Öğrenme Modelleri, Platformlar, Ölçme ve Değerlendirme Yöntemleri

Beyza Esin Özseven^{1*}, Naim Çağman²

^{1*} Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Matematik Bölümü, Tokat, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4888-8259), beyza_esin@hotmail.com

² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3037-1868), naim.cagman@gop.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 26 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898349)

ATIF/REFERENCE: Esin Özseven, B. & Çağman, N. (2021). Uzaktan Eğitimde Kullanılan Bulanık Mantık Tabanlı Öğrenme Modelleri, Platformlar, Ölçme ve Değerlendirme Yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 406-416.

Öz

Uzaktan eğitim, geleneksel eğitimin teknolojik araçlar yardımıyla zaman ve mekan bağımsız olarak gerçekleştirilmesidir. Teknolojik gelişmeler ve pandemi sürecinin başlaması ile birlikte uzaktan eğitime olan talep çok yüksek seviyelere ulaşmıştır. Uzaktan eğitim sürecinin başarı ile idame ettirilmesi ve öğrencinin eğitim hayatını başarılı bir şekilde sürdürülmesi için kullanılacak öğrenme modelleri, platformlar ve ölçme değerlendirme yöntemleri önem arz etmektedir. Bu çalışma, uzaktan eğitimde kullanılan öğrenme modelleri, platformlar, ölçme ve değerlendirme ve uzaktan eğitimde bulanık mantığın kullanımına ilişkin bir derleme çalışmasıdır. Araştırma kapsamında uzaktan eğitimin uygulanmasına ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Araştırma sonucunda, senkron ve asenkron sistemleri destekleyen platformların daha etkin eğitim sağladığı, öğrencilerin sistemi kullanım desenlerinin de ön planda olduğu, akademik güvensizliğin önüne geçmek için yapay zeka tekniklerinden yararlandığı ortaya konulmuştur. Ayrıca, bulanık mantığın öğrenme desenlerinin belirlenmesi, platform seçimi ve ölçme ve değerlendirme de yaygın olarak kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Eğitim, Yapay Zeka, Bulanık Mantık, Ölçme ve Değerlendirme.

Learning Models, Platforms, Measurement and Evaluation Methods Based on Fuzzy Logic Used in Distance Education

Abstract

Distance education is the realization of traditional education independent of time and place with the help of technological tools. With the technological developments and the pandemic, the demand for distance education has reached very high levels. Learning models, platforms and assessment and evaluation methods to be used for the successful continuation of the distance education process and the successful education of the student are important. This study is a review study on learning models, platforms, measurement and evaluation used in distance education, and the use of fuzzy logic in distance education. Within the scope of the research, literature review on the application of distance education has been made. As a result of the research, it was revealed that platforms that support synchronous and asynchronous systems provide more effective training, students' system usage patterns are also at the forefront, and artificial intelligence techniques are used to prevent academic insecurity. In addition, it was concluded that fuzzy logic is widely used in determining learning patterns, platform selection, and assessment and evaluation.

Keywords: Distance Learning, Artificial Intelligence, Fuzzy Logic, Measurement and Evaluation.

* Sorumlu Yazar: beyza_esin@hotmail.com

1. Giriş

Uzaktan eğitim, hem eğitimci hem de öğrencinin zaman ve mekandan bağımsız olarak bir araya geldiği ve teknolojik imkanlarla eğitim sürecini devam ettirdiği eğitim sistemidir (Ulutaş & Ubuz, 2008).

Dünya genelinde eğitim sistemleri, 2020'de yaşanan pandemiden sonra kendisini yenilemek zorunda kalmıştır. UNESCO verileri, 17 Nisan 2020 tarihinden sonra dünya genelinde okul öncesinden yükseköğretime dünya genelinde %91,3'üne karşılık gelen 1.724.657.870 öğrenci salgından etkilendiğini göstermektedir. Uzaktan eğitimin daha aktif ve covid-19 öncesinde daha az tercih edilen kitlesel çevrimiçi açık kurs (MOOC) eğitimlerinden daha fazla faydalanılacağı muhtemeldir. 2020 uluslararası yükseköğretim forumu'nda, pandeminin dünya genelinde yükseköğretim sistemine, eğitim-öğretim metodu, araştırma, uluslararasılaşma, hareketlilik konularında derin etkiler ve değişiklikler getireceği yönünde söylemler gerçekleşti ve bugün itibarıyla, dijital eğitime artık yoğun bir akın başlamıştır (Saraç, 2020).

Günümüz uzaktan eğitim teknolojileri temel olarak senkron ve asenkron olarak 2 gruba ayrılabilir. Senkron eğitim, yüz yüze eğitime benzer yapıya sahip olmakla birlikte yüz yüze eğitimden farklı olarak öğrenci ve öğretmen aynı fiziksel ortamı paylaşmamaktadır. Eğitim canlı olarak gerçekleştirilse de öğrenci ile etkileşim düşük düzeydedir. Birçok eğitimci etkileşimi artırmak için ders esnasında öğrencilerin kamera ve ses sistemlerinin açık olmasını tercih etmektedir. Ancak, kullanılan alt yapının yetersizliği çoğunlukla buna müsaade etmemektedir. Bunun sonucu olarak da ders tam olarak etkileşimli gerçekleştirilememektedir. Asenkron eğitimde ise ders materyalleri dosya veya video kaydı şeklinde öğrencilerle paylaşılmaktadır. Öğrencinin takibi sadece materyallere erişimlerinin, video izleme ve sistemde kalma sürelerinin takibi ile gerçekleştirilmektedir. Ancak, birçok öğrenci sistemi belirli bir süre açık bırakarak devam zorunluluğunu tamamlamaktadır.

Uzaktan eğitimdeki temel problemleri ele alacak olursak; kullanılacak eğitim sisteminin tercihi, öğrenci devamının takibi ve öğrenci performansının değerlendirilmesi eğitsel açıdan ortaya çıkan temel problemlerdir. Bununla birlikte teknolojik altyapının yetersizliğini de teknik bir problem olarak değerlendirebiliriz.

Günümüzde birçok eğitim kurumu uzaktan eğitim altyapısına sahiptir. Bu altyapı oluşturulurken Moodle (*Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org, t.y.*) gibi açık kaynak kodlu web tabanlı yazılımlar, hazır portallar veya kurumların kendi geliştirdiği yazılımlar tercih edilmektedir. Ancak, bu yazılımlar asenkron eğitime olanak sağlamaktadır. Eğitimci bu yazılımlar üzerinden dosya paylaşımı, video paylaşımı vb. yapabilir. Ancak, senkron ders yapmak istediğinde Zoom (*Zoom, t.y.*), Microsoft Teams (*Microsoft Teams, t.y.*), Cisco Webex (*Cisco Webex, t.y.*), GoToMeeting (*GoToMeeting, t.y.*) veya açık kaynak kodlu eklentiler kullanılması gerekmektedir. Öğrenci başarısının değerlendirilmesi için ise uzaktan eğitim sistemine çevrimiçi sınav eklentileri dahil edilmektedir. Bu tür sınavlardaki temel problem öğrencinin kopya çekmesidir. Bunun önüne geçmek için sınav için özel süre tanımlaması veya soru havuzundan her öğrenci için farklı soru çekilmesi kullanılan bazı yöntemlerdir. Diğer bir yöntem ise her öğrencinin sınav süresince kameradan takip edilmesidir. Bir eğitim kurumu tüm olanaklara sahip olsa dahi bu kez karşılaşacağı en büyük sorun bu sistemi

sorunsuz şekilde idame ettirebilecek teknolojik donanımına sahip olup olmadığıdır.

Bu çalışmada, uzaktan eğitimde kullanılan öğrenme modelleri, platformlar ve uzaktan eğitimde bulanık mantığın kullanımına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde uzaktan eğitim modelleri, üçüncü bölümünde uzaktan eğitim platformları, dördüncü bölümde uzaktan eğitimde ölçme ve değerlendirme sistemleri ve son bölümde bulanık mantığın uzaktan eğitimdeki uygulamaları verilmiştir.

2. Uzaktan Eğitim Modelleri

Uzaktan eğitim temel olarak tek yönlü ve çift yönlü olarak iki model üzerine yoğunlaşmıştır. Tek yönlü model teknolojik gelişmeler öncesi kullanılan ve katılımcılar arasındaki iletişimin tek yönlü olduğu eğitim modelidir. Dolayısıyla katılımcılar arasında eşzamanlı iletişim yoktur. İletişim, mektup, e-posta, radyo-TV gibi ortamlar üzerinden gerçekleşir. Öğrenciler dersi dinleme, izleme veya internet ortamı üzerinden öğrenir (İşman, 1998). Çift yönlü iletişimde ise katılımcılar çift yönlü ve eşzamanlı olarak iletişim kurabilir. Uzaktan eğitimde teknoloji kullanımına yönelik birçok uygulama modeli ortaya çıkmıştır.

Uzaktan eğitim modelleri günümüzde kullanım şekline göre değerlendirecek olursak senkron (eşzamanlı) ve asenkron (eş zamansız) olarak gruplandırılabilir.

Senkron eğitim, eğitimci ve öğrencinin sanal sınıf ortamında birlikte bulunduğu sistemlerdir. İletişim eğitimcinin kontrolünde karşılıklı olarak anlık gerçekleştirilebilir. Bu tür ortamların en önemli avantajı, “öğrenci-öğrenci” ya da “eğitimci-öğrenci” arasındaki etkileşimi sağlayabilecek araçların kullanımına uygun olmaları nedeniyle, geleneksel sınıf ortamına benzer ortam oluşturmaktadır (Can, 2008; Özkaraca, 2005). Yüksek geniş bant internet bağlantısına ihtiyaç vardır.

Asenkron eğitimde eğitimci ve öğrenci birbirinden bağımsız olarak sistemi istediği zaman kullanabilir. Eğitimci öğrenme materyallerini sisteme doküman, video veya sunu gibi formatlarda yükleyebilir. Öğrenci de eğitimcinin paylaşımlarına erişim sağlayabilir. Minimum altyapı ile sistem kullanılabilir.

Uzaktan eğitim ortamlarındaki en büyük sorun tüm kullanıcıların çok iyi bir teknik donanım, alt yapı ve teknolojiyi kullanabilme yetisine ihtiyaç olmasıdır.

3. Uzaktan Eğitim Platformları

Gerek ulusal gerekse de uluslararası bağlamda birçok eğitim kurumu uzaktan eğitimi uzun yıllardır kullanmaktadır. Ancak, pandemi dönemi ile eğitimin sürekliliği için uzaktan eğitime talep çok fazla artmıştır.

Literatürde MOOC ve canlı ders yazılımları incelendiğinde birçok çalışma mevcuttur (Herand & Hatipoğlu, 2014; Işık vd., 2010; İzmirli & Akyüz, 2017; Lavolette vd., 2010; Schullo vd., 2007; Yıldırım vd., 2011). Bu çalışmalar, Adobe Connect, Big Blue Button, Blackboard Collaborate, Electa Live, GoToTraining, Openmeetings, Perculus, VMukti ve WizIQ gibi birçok yazılımı karşılaştırmıştır. Teknoloji dünyasında kullanılan yazılımlar bunlarla sınırlı değildir. Bunlara ek olarak açık kaynak kodlu çeşitli yazılımlar ve kurumların kendileri geliştirdikleri platformlarda mevcuttur.

Kullanılacak yazılımın belirlenmesinde canlı ders süresi, katılımcı sınırı, kayıt özelliği gibi öncelikli gereksinimlerin göz

önüne alınması gerekmektedir. Bu gereksinimlere ek olarak bütçe, teknik altyapı ve kullanım kolaylığı da göz önüne alınmalıdır.

Durak vd.'nin yaptığı çalışmada Türkiye'deki üniversitelerde kullanılan uzaktan eğitim sistemleri ile ilgili araştırma yapmıştır (Durak vd., 2020). Yapılan araştırmanın bulgularına göre Moodle, ALMS, Microsoft Teams, Üniversite Bilgi Yönetim Sistemi (ÜBYS), Toltek, Google G-Suite, Sakai, Blackboard Learn, Canvas ve SIYDEM yönetim sistemleri kullanılmaktadır (kullanım yoğunluklarına göre sıralı verilmiştir). Bu sistemler öğrenme yönetim sistemi olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler üzerinden öğrenci ve eğitimci aynı platformda bir araya getirilmekte ve kaynak paylaşımı sağlanmaktadır. Yani süreç asenkron olarak işlemektedir. Derslerin canlı olarak işlenmesi için

kullanılan yazılımlar ise kullanım yoğunluğuna göre sırasıyla Big Blue Button, Perculus, Microsoft Teams, Zoom, Adobe Connect, Blackboard Collaborate, Google Meet ve Cisco Webex'dir (Durak vd., 2020). Bu yazılımların bazıları açık kaynak kodlu olup kullanımı ücretsizdir. Bazıları ise lisans ücreti ödenerek kullanılabilir.

Öğrenme yönetim sistemi ve canlı ders yazılımları birbirinden bağımsız platformlardır. Ancak, canlı ders yazılımları öğrenme yönetim sistemine entegre edilerek tek bir platform üzerinde kullanılabilir.

Yaygın olarak kullanılan öğrenme yönetim sistemleri ile ilgili karşılaştırma Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Öğrenme yönetim sistemlerinin karşılaştırması (Aydoğdu Karaaslan, 2019; Herand & Hatipoğlu, 2014; Karadimas, 2018; Küçükönder & İbrahim, 2016).

	Moodle	ALMS	Microsoft Teams	Toltek	Sakai	Canvas	SIYDEM	Open edX	Blackboard
Lisans	Ücretsiz	Ücretli	Ücretli	Ücretli	Ücretsiz	Ücretsiz	Ücretli	Ücretsiz	Değişken
Dosya Paylaşımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sohbet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Genişletilebilirlik	✓	x	x	x	x	✓	x	✓	x
Raporlama	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
Web tabanlı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Masaüstü	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x
Mobil	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x
Sınav/Ödev	✓	✓	✓	✓	x	✓	Eklenti	Eklenti	✓
Ders Tanımlama ve Atama	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E-mail entegrasyonu	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	x
Kullanıcı Sınırı	Sınırsız	Sınırlı	Sınırlı	Sınırlı	Sınırlı	Sınırsız	Sınırlı	Sınırsız	Sınırlı
Forum	✓	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓
Canlı Ders	Eklenti	✓	✓	✓	Eklenti	Eklenti	Eklenti	Eklenti	Eklenti

Literatürde yer alan ve ticari olarak kullanılan öğrenme yönetim sistemleri sadece Tablo 1'de verilenler ile sınırlı değildir. Özellikle pandemi dönemi ile uzaktan eğitime talep artışı oluşmuş ve çok sayıda yazılım firması da bu alanda çalışmalarına hız vermiştir.

Öğrenme yönetim sistemlerinden beklenenler 2020 yılına kadar çok kapsamlı değildir. Bu beklentiler doğrultusunda aşağıdaki özelliklere sahip olması yeterliydi.

- Ders içeriklerinin paylaşımı
- Çift taraflı iletişimin sağlanması
- Ölçme ve değerlendirme
- Raporlama

Ancak, 2020 yılında yaygınlaşan pandemi nedeniyle eğitim kurumlarının neredeyse tamamı uzaktan eğitime yönelmiş ve beklentiler bu doğrultuda artmıştır. Geleneksel beklentilere ek olarak aşağıdaki beklentiler de artık kullanıcılar tarafından ön planda tutulmaktadır.

- Kullanıcı kapasitesi
- Müfredat oluşturma
- Detaylı raporlama
- Ders bazlı planlama

- Ölçme ve değerlendirme için öğrenci başarısı tam olarak değerlendirme ve kopya çekmenin önüne geçme
- Canlı ders imkanı ve bu derslerde sesli ve görüntülü iletişim için teknik altyapının yeterliliği
- Kullanıcı profili genele yayıldığı için en alt düzeyde teknik bilgiye sahip kullanıcılarında kullanabileceği kolaylıkta olması
- Kesintisiz eğitim için teknik ve teknolojik olarak yeterli altyapıya ve personele sahip olma

Tablo 1'de verilen öğrenme yönetim sistemleri incelendiğinde sistemlerin temel özelliklerinin kesiştiği görülmektedir. Bu nedenle, eğitim kurumları tercih yaparken bütçe ve teknolojik altyapılarını göz önüne alarak tercih yapmaktadır. Açık erişim olan sistemlerin avantajı ise yeterli teknik personele sahip olan kurumların sistemi kendi isteklerine göre revize edebilmesidir. Bu avantajının yanı sıra kendi sunucu altyapılarına sahip olmaları gerekliliği de büyük bir dezavantajdır.

Tümleşik bir uzaktan eğitim sistemi hem öğrenme yönetim sistemini hem de senkron ders yapma yeterliliklerine sahip olmalıdır. Tablo 1'de verilen sistemlerden ALMS, Microsoft Teams ve Toltek tümleşik bir sistem olup her iki özelliği de kısmen içermektedir. Çünkü, Microsoft Teams'in öğrenme yönetim sistemi ders tabanlı planlama yapmak için uygun değildir.

Uzaktan eğitim sisteminin bir diğer basamağı olan canlı ders sistemleri bağımsız veya eklenti olarak kullanılabilir. Örneğin, Zoom bağımsız olarak veya eklenti olarak

kullanılabilirken, BigBlueButton açık kaynak kodlu sistemlere eklenti olarak dahil edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan canlı ders yazılımları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Canlı ders yazılımlarının karşılaştırması (Herand & Hatipoğlu, 2014; İzmirli & Akyüz, 2017; Lavolette vd., 2010; Yıldırım vd., 2011).

	BigBlue Button	Perculus	Zoom	Microsoft Teams	Adobe Connect	Google Meet	Cisco Webex	Open Meetings	GoToMeeting	WizIQ
Lisans	Ücretsiz	Ücretli	Ücretli	Ücretli	Ücretli	Ücretli	Ücretli	Ücretsiz	Ücretli	Ücretli
Katılımcı Sınırı	Değişken	Değişken	1500+	10000	1500	10000	3000	Değişken	3000	300
Paylaşım	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sohbet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kayıt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Canlı Anket	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	x	x
Toplantı ve Sunum Ayrımı	x	x	✓	x	✓	x	✓	x	x	x
Entegrasyon	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓
Web Tabanlı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Masaüstü	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
Mobil	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x

Canlı ders yazılımlarından temel beklenti düşük bant genişliği, sesli ve görüntülü iletişim, ders esnasında sohbet bölümü, kolay entegrasyon ve dersin kayıt altına alınmasıdır. Tablo 2’de verilen canlı ders yazılımları incelendiğinde tüm yazılımların temel beklentileri karşıladığı görülmektedir. Öğrenme yönetim sistemlerindeki talep artışına bağlı yeni sistemlerin geliştirilmesi canlı ders yazılımları için de geçerlidir. Ancak, teknik altyapı olarak canlı ders sistemleri daha spesifik alana hitap etmektedir.

4. Uzaktan Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme Sistemleri

Ölçme ve değerlendirme, eğitim kurumlarının öğrenci öğrenme durumu ile ilgili geri bildirim almak için kullandığı bir yöntemdir. Bu yöntem özellikle uzaktan eğitimin son aşaması olarak görülmektedir. Ancak, öğrenme bir süreç gerektirdiği için öğrenme durumu sürekli olarak takip edilmelidir (Baran, 2020). Yani, ölçme ve değerlendirme sadece son aşamaya bırakmayıp süreç içerisinde de yer vermek gerekmektedir. Bu nedenle gerek uzaktan gerekse de örgün eğitimde biçimlendirme (yetiştirme) amaçlı değerlendirme ve öğrenme etkinlikleri sonunda gerçekleştirilen düzey belirleme (değer biçme) amaçlı yapılan değerlendirme kullanılmaktadır (Baran, 2020).

Biçimlendirme amaçlı değerlendirme, ders materyallerinde haftalık, aylık veya bölüm sonunda verilen ve öğrencinin öğrenme süreci içerisindeki öğrenme düzeyini belirlemeye yöneliktir. Düzey belirleme amaçlı değerlendirme ise gözetimli olarak dönem sonu sınavlarını, ödevleri veya projeleri içermektedir (Baran, 2020).

Uzaktan eğitimde, objektif, kolay olması, dijital ortamda kolay kullanılabilmesi ve kişiye özel planlanabilmesi nedeniyle test yöntemi çoğunlukla tercih edilmektedir. Ayrıca, araştırma makalesi ve proje hazırlama gibi sübjektif yöntemlerde kullanılmaktadır (Simonson vd., 2014). Uzaktan eğitimde

kullanılan ölçme ve değerlendirme yöntemlerini genel olarak test, sözlü, açık uçlu soru, ödev, kısa cevaplı soru, araştırma makalesi, çevrimiçi tartışma, performans, gösteri, proje, vaka çalışması, eşleştirme, görüşme, portfolyo ve akran değerlendirmesi olarak kategorize edebiliriz.

Uzaktan eğitimde ölçme ve değerlendirmede karşılaşılan en büyük problemlerden birisi kimlik doğrulama problemidir. Yani, sınavın ilgili öğrenci tarafından yapıp yapılmadığıdır.

Uzaktan eğitimde gerçekleştirilen sınavların güvenilirliği ile ilgili durumlar aşağıda verilmiştir (Bozkurt & Ucar, 2018; Sindre & Vengdla, 2015);

- Öğrencinin yerine başkasının sınava girmesi.
- Sınavda başka kişi veya dijital ortamlardan yardım alınması.
- Kopyala/yapıştır çalışmalar yapılması. Referans vermeden kaynak kullanımı.
- Sınav için verilen zaman dilimine uyulmaması.
- Öğrencinin asılsız beyanlar vererek ek süre istemesi veya sınav sonucunu etkilemeye çalışması.

Yukarıda belirtilen faktörler göz önüne alındığında uzaktan eğitimde çevrimiçi gerçekleştirilen sınavlar akademik güvensizlik oluşturmaktadır.

5. Uzaktan Eğitimde Bulanık Mantık

Endüstri 4.0 kavramının tüm dünyaya tanıtılması ile başlayan ve pandemi süreci ile hız kazanan dönüşüm, teknolojinin her alanına olduğu gibi eğitim alanına da yansımıştır. Birçok yapay zeka yöntemi eğitim süreçlerinin çeşitli kademelerinde karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde, yapay zeka yöntemlerinin eğitime yansımaları genelinde araştırma yapılmış ve bulanık mantığın uzaktan eğitimde kullanımı detaylı araştırılmıştır.

Yapılan çalışmalar, öğrenci başarısını değerlendirme, öğrenme yönetim sistemi seçimi, performans değerlendirmesi,

ders içeriği belirleme ve sınav zorluk düzeyi ayarlama üzerine yoğunlaşmaktadır (Çöpgeven & Fırat, 2019). İncelenen çalışmalarla ilgili özet bilgi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Uzaktan eğitim üzerine yapılan çalışmaların özeti.

İçerik	Yöntem	Kaynak
Öğrenci performansı değerlendirme	Bulanık Mantık	(Abu Bakar vd., 2020; Annabestani vd., 2019; Azimjonov vd., 2016; Barlybayev vd., 2016; Cebi & Karal, 2017; Dashko vd., 2020; Echaz & Vachtsevanos, 1995; Ingoley & Bakal, 2012; Ivanova & Zlatanov, 2019; Jamsandekar & Mudholkar, 2013; Jyothi vd., 2014; Khawar vd., 2020; Ölmez, 2010; Raval & Tailor, 2020; Salmi vd., 2014; Ünver, 2020; Wardoyo & Yuniarti, 2020; Yıldız, 2014; Yıldız vd., 2013)
	Yapay Sinir Ağları	(Hassan vd., 2019; Ndukwe vd., 2019; Waheed vd., 2020)
	Derin Öğrenme	(Hassan vd., 2019; Sokkhey & Okazaki, 2019)
	Rastgele Orman	(Abubakar & Ahmad, 2017; Ghatasheh, 2015; Mahboob vd., 2016; Umer vd., 2017)
	Lojistik Regresyon	(Ghatasheh, 2015; Hassan vd., 2019; Silva vd., 2016; Umer vd., 2017; Waheed vd., 2020)
	Çok Katmanlı Algılayıcı	(Ghatasheh, 2015)
	Naive Bayes	(Ghatasheh, 2015; Kotsiantis vd., 2004; Mahboob vd., 2016; Slater & Baker, 2019; Umer vd., 2017)
	Destek Vektör Makineleri	(Ghatasheh, 2015; Kotsiantis vd., 2004; Waheed vd., 2020)
	C4.5	(Kotsiantis vd., 2004; Mahboob vd., 2016)
	Karar ağaçları	(Abubakar & Ahmad, 2017; Ghatasheh, 2015; Hussain vd., 2018; Kotsiantis vd., 2004; Mahboob vd., 2016)
	k-Means	(Sisovic vd., 2016)
	JRIP	(Hussain vd., 2018)
	J48	(Hussain vd., 2018)
	CART	(Gocheva-Ilieva vd., 2021; Hussain vd., 2018; Kotsiantis vd., 2004)
	k-NN	(Abubakar & Ahmad, 2017; Umer vd., 2017)
Görüntü İşleme	(C. Turan vd., 2018)	
E-öğrenme sistemi değerlendirmesi	C4.5	(Sevindik & Cömert, 2010)
	K-means	(Sevindik & Cömert, 2010)
	Apriori	(Cerezo vd., 2017; Sevindik & Cömert, 2010)
	Destek Vektör Makineleri	(Sevindik & Cömert, 2010)
	k-NN	(Sevindik & Cömert, 2010)
	Naive Bayes	(Hussain vd., 2018; Kotsiantis vd., 2004; Sevindik & Cömert, 2010)
	Dijital İkiz	(David vd., 2018; Patriarcheas & Xenos, 2009)
	Bulanık Mantık	(Ayouni vd., 2021; Doğ, 2012; Hogo, 2010; Naveed vd., 2020)
E-öğrenme modeli oluşturulması	Derin Öğrenme	(Antony Rosewelt & Arokia Renjit, 2020)
	Bulanık Mantık	(Al Duhayyim, 2019, 2019; Antony Rosewelt & Arokia Renjit, 2020; Bhattacharya vd., 2017; Dias vd., 2020; Jing vd., 2020; Karacı, 2013; Lee vd., 2019; Machado vd., 2016; Megahed & Mohammed, 2020; Ozek vd., 2010)
E-öğrenmeye devam edip edilmeyeceğinin tahmini.	Yapay Sinir Ağları	(Lykourantzou vd., 2009; Vandamme vd., 2007)
	Rastgele Orman	(Behr vd., 2020; Sokkhey & Okazaki, 2019)
	Doğal Dil İşleme	(Robinson vd., 2016)
Öğrenme yönetim sistemi seçimi	Bulanık Mantık	(Altun Türker, 2012; Lin vd., 2005; Pariserum Perumal vd., 2019; H. Turan, 2018)
Ders içeriği belirleme	Bulanık Mantık	(Gültaş, 2007)
Öğrencilerin derse katılımını değerlendirme	Bulanık Mantık	(Almohammadi vd., 2017)
Materyal öneri sistemi	Bulanık Mantık	(Pandey & Singh, 2015)
Öğrenme stili tahmini/önerisi	Bulanık Mantık	(Azzi vd., 2020; El Aissaoui vd., 2019; Ozdemir vd., 2016; Ozek vd., 2010)
Öğrenci memnuniyeti değerlendirme	Bulanık Mantık	(Cervero vd., 2020)

Uzaktan eğitimde sınıf ortamındaki etkileşim sağlanmadığı için öğrencilerin öğrenme düzeyini ölçmek için gerekli verileri toplamak, analiz etmek ve bunları anlamlandırmak önemlidir. Bu nedenle, literatürde öğrenci performansını değerlendirmeye yönelik yapılan çalışmalarda sadece sınav değerlendirmesi kullanılmamış olup aynı zamanda öğrencinin öğrenme yönetim sistemi üzerindeki davranışları da incelenmiştir. Ayrıca, akademik güvensizliğin önüne geçmek için çeşitli güvenlik önlemleri de ön plana çıkmaktadır.

Gültaş yaptığı tez çalışmasında Matematik ders içeriklerinin belirlenmesi için öğrenci ve eğitimcilere anket uygulamış ve bulanık analitik hiyerarşi proses yöntemi kullanmıştır. Çalışmada öğretim üyelerinin müfredat beklentileri ölçülmüştür. Üniversite sanayi iş birliği ile daha sağlıklı müfredatlar oluşturulabileceği görülmektedir. Sonuç olarak, bulanık AHP metodu müfredat geliştirmek için kullanabilmektedir (Gültaş, 2007).

Hogo, e-öğrenme sistemlerini değerlendirmek için öğrenenleri de kapsayan yapay zeka teknikleri ve istatistiksel araçların hibrit bir modelini kullanmıştır. Öğrencinin profili, değerlendirme sürecinde ve e-öğrenme sürecini iyileştirme önerilerinde çok önemli bir rol oynadığı için öğrencileri profillerine (normal, çalışkan, rahat, kötü ve devamsız) göre kategorilere ayırmaktadır. Çalışma, öğrencileri değerlendirme, öğrenme sisteminin yapısını tasarlama ve kötü öğrencilerin normal hale nasıl dönüştürüleceği sorularına yanıt aramaktadır. Öğrenci profillerini belirlemek için bulanık kümeleme kullanılmıştır (Hogo, 2010).

Ölmez, yüksek lisans tez çalışmasında uzaktan eğitimde sınavların gerçekleştirilmesi için bulanık mantık tabanlı sınav analiz sistemi geliştirmiştir. Sorular zorluk derecesi ve konu seçimine göre hazırlanabilmektedir (Ölmez, 2010).

Üniversitelerin en uygun uzaktan eğitim yönetim sistemini belirlemeyi sağlamak için yapılan çalışmada ise seçim kriterleri ve bulanık mantık kullanılmıştır. Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini beraber kullanılarak alternatiflerin yakınlık katsayısı belirlenmiştir. En iyi alternatif ise en yüksek değere sahip olandır sonucuna varılmıştır (Altun Türker, 2012).

Sınıflandırma teknikleri, öğrenenlerin sistemle etkileşimlerinden gelen verileri işleyerek öğrenme stillerini otomatik olarak tespit etmek için en çok kullanılan tekniklerdir. Bu sınıflandırma tekniklerini kullanarak, çeşitli öğrenme stili modelleriyle ve çeşitli yaklaşımlarla önemli sonuçlar elde edilir. Bu yaklaşımların performansı, kullanılan verilere bağlıdır. Kullanılan veri sadece bir derse aitse sonuçlar güvenilir olmayabilir. Bu nedenle, verilerin genel temsil özelliğine sahip olması ve çeşitli derslere karşılık gelen öğrenme davranışlarından toplanması önemlidir.

Jamsandekar ve Mudholkar, bulanık çıkarım tekniği ile öğrenci performanslarını değerlendirmiş ve iki üyelik fonksiyonunun birleşimi olan bir yaklaşım önermişlerdir. Bu amaçla, öğrenci puanları konu bazlı sınıflandırılmıştır. Bulanık çıkarım için MATLAB Fuzzt Tool Box kullanılmıştır (Jamsandekar & Mudholkar, 2013).

Yıldız vd., çalışmalarında uzaktan öğrenenlerin yıl sonu akademik başarılarını yıl başında tahmin etmek için geliştirilmiş bulanık modelleme kullanmıştır. Bu amaçla, öğrenme yönetim sistemindeki ilk sekiz haftalık veriler, klasik bulanık model, uzman görüşüne dayalı bulanık model, genetik algoritma tabanlı bulanık model ve moodle öğrenme sistemi kullanılmıştır (Yıldız, 2014; Yıldız vd., 2013).

Salmi vd., e-öğrenme için bulanık mantık tabanlı değerlendirme sistemi önermiştir. Önerilen sistemde, öğrenciyi değerlendirmek için öğrenci cevaplarında 7 sınıf (UA: unanswered, VP: very poor, P: poor, M: medium, FW: fairly well, G: good, VG: very good) ve çıktı olarak 6 bulanık küme (A: very good, B: good, C: fairly well, D: medium, E: Poor, F: very poor) kullanılmıştır (Salmi vd., 2014).

Pandey ve Singh, öğrencinin gereksinimleri, hedefleri ve ilgisine göre çalışma materyali önermek için multi-agent tabanlı bulanık mantık ve sistemi modellemek için MATLAB kullanmıştır. Modellenen sistemde multi-agent olarak 7 ajan belirlenmiştir. Bunlar; kullanıcı, öğrencinin sistemde kayıtlı veriler, arayüz ajanı, görev ajanı, bilgi ajanı, tavsiye ajanı ve veritabanı ajanı. Arayüz ajanı, kullanıcı ve öğrencinin verileri arasında filtreleme yapmaktadır. Görev ajanı ise öğrenci sorgusuna göre arayüz ajanından gelen verileri analiz etmektedir. Bilgi ajanı, görev ajanından gelen bilgilere göre bilgi tabanından gerekli materyalleri belirler. Tavsiye ajanı, kullanıcı geri bildirimleri ve ulaştığı hedeflere göre yeni öğrenme materyali önermektedir. Veritabanı ajanı, modele ait tüm verileri (ders planları, öğrenme materyalleri, kullanıcı hesapları vb.) tutar (Pandey & Singh, 2015).

Azimjonov vd., uzaktan eğitimde öğrenci performansını değerlendirmek için bulanık mantık tabanlı yaklaşım önermiştir. Önerilen sistemde 7 faktör (homework, quiz, middle exam, final, watch video, read e-book, attendance) girdi ve öğrenci performansını belirlemek için 8 faktör (failed, weak, weaknormal, normal, normalgood, good, goodexcellent, excellent) çıktı olarak kullanılmıştır (Azimjonov vd., 2016).

Barlybayev vd., öğrenci performansını bulanık mantık ile değerlendirirken ders kazanımlarını (teorik, uygulama, laboratuvar, seminer, kendi kendine öğrenme, arasınnav, final vb.) temel almıştır (Barlybayev vd., 2016).

Almohammadi vd., uzaktan eğitimde öğrencilerin derse katılımını ölçmek için Kinect kamera ve tip-2 bulanık mantık kullanmışlardır. Yapılan çalışma ile öğretmenlerin öğretim yöntemlerini öğrencilerin seviyesine uyacak ve öğretim sunumlarını geliştirecek şekilde nasıl değiştirebilecekleri konusunda tavsiyelerde bulunmaktadır (Almohammadi vd., 2017).

Cebi ve Karal, bulanık mantık yaklaşımına dayalı çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) ile üniversite öğrencilerinin geliştirdikleri projeleri bir ders kapsamında değerlendirmek ve en iyi projeyi seçmek amacıyla yapılmıştır. Değerlendirme kriterleri uzman tarafından belirlenmiştir. Değerlendirme yapılırken dilsel değişkenler kullanılmış ve değerlendirme sonrası bu değişkenler bulanık sayılara dönüştürülerek FAHP ile analiz edilmiştir (Cebi & Karal, 2017).

Annabestani vd., İran'da ilköğretim matematik dersi için öğrenci başarısını değerlendirmede kullanılan 4 kategorinin (Need More Effort (NME), As Expected (AE), Good (G) and Very Good (VG)) öğrencinin öğrenme düzeyini tam olarak ifade etmediği belirterek geri beslemeli bulanık mantık ile yeni bir değerlendirme modeli simule etmişler ve mobil uygulama geliştirmişlerdir. Örneğin, VG'nin sayısal değeri 18-20 arasında kabul edilirse 20 alan öğrenci 18 alana göre VG grubuna daha fazla üyedir. Ayrıca, 17 alan öğrenci G grubundan daha çok VG grubuna üye olabilir. Bu çalışmanın temel amacı bu belirsizliği bulanık mantık ile çözmektir. Model MATLAB ortamında

hazırlanmıştır. Hazırlanan model 4 değerli bulanık sistem kullanılmış olup her değer İran'da eğitim sürecinin aylarını göstermektedir (7, 9, 10 ve 11.ay). Her bir dönem ayrı bulanık sistem olarak tasarlanmıştır. Ancak, dönemler birbirinin çıktısını girdi olarak kullanan geri besleme kullanmıştır (Annabestani vd., 2019).

Perumal vd., örüntü madenciliği ile öğrencinin sisteme erişim desenlerini kullanarak bulanık kural tabanlı materyal öneri sistemi tasarlamışlardır (Pariserum Perumal vd., 2019).

Ivanova ve Boyan, öğrenci notunu değerlendirirken başarısı iki sınıf arasında sınırdaki kalan notlar için bulanık mantık tabanlı değerlendirme sistemi kullanmıştır. Örnek olarak, bir testte 60 üzerinden 29 puan alan bir öğrenci başarısız olurken 30 veya 31 puan alan başka bir öğrenci başarılı olacaktır. Bu problem, borderline test puanlarına sahip öğrencilere daha yüksek veya daha düşük notların atanıp atanmadığını belirlemek için bulanık mantık ve farklı bulanık işlevler kullanılarak ele alınmıştır. Model oluşturulurken 60 soru test ve 1 soru açık uçlu olarak planlanmış ve test güvenilirliği için Cronbach alfa katsayısı hesaplanmıştır. Öğrenci başarısı 5 kategoride değerlendirilmiştir. Bulanık mantık için trapezoidal üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Ivanova & Zlatanov, 2019).

Ünver, öğrencilerin başarılarındaki olumlu/olumsuz farklılıkların psikolojik etkilerini azaltarak performans ve motivasyonun üst seviyede tutulmasını amaçlayan bulanık mantık tabanlı yazılım geliştirmiştir. Matematik dersi esas alınarak yapılan çalışmada üniversite giriş sınavına hazırlanan öğrencilerin ünite sorularına verdikleri doğru cevap sayısı, sınavı alan diğer öğrencilerin ilgili üniteye doğru cevap sayıları ve önceki yıllarda alınan ders geçme notları bulanık mantıkla değerlendirilmiş, öğrencilerin her bir ünite için öğrenme oranları belirlenmiştir. Tespit edilen öğrenme oranlarına göre öğrenci düzeyine uygun soru kombinasyonlu sınavlar türetilmiştir. Geliştirilen yazılım ile öğrencilerin moral – motivasyon düzeyini yüksek tutmayı esas alarak sürekli bir gelişim çizgisinin yakalanması hedeflenmiştir (Ünver, 2020, s. 2).

Derin sinir ağları ve bulanık teknikler gibi iki veya daha fazla akıllı sistemin entegrasyonu, hibrit akıllı sistemler olarak adlandırılan sistemlerle sonuçlanır. Bunlar, çeşitli karmaşık gerçek dünya uygulamalarındaki geniş başarılarından dolayı son zamanlarda önemli ölçüde dikkat çekmiştir. İlginç bir örnek, öğrenme sürecinin bir sonraki seviyesinin belirlenebilmesi için öğrenenlerin belirli sorulara verdiği yanıtların dikkate alındığı uyarlanabilir bilgisayar tabanlı öğrenme ortamlarının geliştirilmesidir. Bununla birlikte, bu yöntemler öğrenme sürecinde öğrencinin davranışını ve duygusal ifadelerini yakalayamaz. Bunları yakalamak, öğrenme akışını daha uyarlanabilir hale getirebilir ve öğrenme ortamının, yetenekleri ve etkileşim seviyelerine göre öğrencileri farklı öğrenme yollarına yönlendirmesine izin verebilir.

Megahed ve Ammar, öğrenenlerin sorulara verdiği yanıtların ve duygusal durumlarının entegrasyonunu göz önünde bulundurarak akıllı bir uyarlanabilir e-öğrenme ortamını modellemek için bir yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşımda evrimsel bir sinir ağı (CNN) ile bulanık bir sistem kullanılmıştır. CNN, yüz ifadesini tespit etmek için ve bulanık sistem, CNN'den çıkarılan yüz ifadesi durumlarına ve öğrenci tarafından çeşitli yanıt faktörlerine dayanarak bir sonraki öğrenme seviyesini belirlemek için kullanılır (Megahed & Mohammed, 2020).

Abu Bakar vd., bulanık mantık yaklaşımı ile MOOC'da öğrenci performansının tahminini gerçekleştirmiştir. Değerlendirme, çevrimiçi değerlendirme notları ve kendi kendine öğrenme süresi kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, daha yüksek değerli çevrimiçi değerlendirme notları ve daha yüksek çevrimiçi kendi kendine öğrenme süresinin final sınavında daha yüksek performansa katkıda bulunduğunu göstermiştir (Abu Bakar vd., 2020).

Öğrenci performansını değerlendirmeye yönelik çalışmalarda, anket, öğrenci profili, sınav puanları, sınav değerlendirme, materyal öneri sistemi, ders kazanımları, derse katılım durumu, sınırdaki kalan notlar ve öğrencilerin psikolojik durumları öncelikli olarak ele alınmıştır.

E-Öğrenim Sistemlerinde, öğrencilerin öğrenme stillerinin otomatik olarak algılanması, eğitmenlerin öğrenmeyi öğrenenlere sunulacak şekilde kişiselleştirmeleri için somut bir yol sağlar. Öğrenme stillerini bulmaya yönelik geleneksel yaklaşım, öğrencilerden anketler ve anketler aracılığıyla kendi tutum ve davranışlarını kendi kendilerine değerlendirmelerini istemeye bağlıdır. Bu yaklaşım, öğrencilerin kendi tercihleri konusunda kendilerinin farkında olmamaları da dahil olmak üzere çeşitli zayıflıklar sunar. Dahası, öğrencilerin büyük çoğunluğu, kendilerinden ilgili anketi doldurmaları istendiğinde rahatsız olmaktadır. Bunun yanı sıra geleneksel yaklaşım, öğrenme stillerinin sabit olduğunu ve zamanla değişmeyeceğini varsayar.

Özek vd., tarafından tip-2 bulanık mantık temelli yeni bir öğrenci öğrenme stili modeli modülü önerilmiştir. Önerilen modelde, kullanıcının sistemle etkileşiminin geçmişi, zihinsel beceriler, öğrencinin hedefleri, içerik sunumunda yazı, resim veya animasyon tercihi, öğrencinin teknolojik altyapısı, konu hakkındaki öğrencinin bilgisi referans alınmıştır. Bu referanslar doğrultusunda bulanık kurallar belirlenmiştir. Hazırlanan model 20 öğrenciye uygulanarak öğrenciler duyuşal, görsel, aktif ve sırasal öğrenme olarak kategorize edilmiştir (Ozek vd., 2010).

Karacı, doktora tez çalışmasında, ses tanıma tanıma teknolojisi kullanan zeki öğretim sistemi geliştirmiştir. Karacı, sistemin öğrenmeyi bireyselleştirdiğini, etkili ve hızlı öğrenmeyi sağladığını belirtmiştir (Karacı, 2013).

Machado vd., yapay zeka tekniklerinin bir öğretim destek aracı olarak kullanımı üzerine odaklanmıştır. Intelligent Tutoring Systems ve Bulanık Mantığı kullanan bu çalışma, elektronik yollarla öğretimin daha verimli olacağını ve grup halinde veya bireysel olarak öğrencilerin gereksinimlerine uyarlanacağını göstermektedir (Machado vd., 2016).

Bireyin yeteneklerine ve kişiliklerine göre en uygun öğrenme stilini belirlemek, hızlı, kolay ve kaliteli öğrenme için çok önemlidir. Her bireyin farklı kişiliği ve yeteneği olduğu düşünüldüğünde, her bireyin en uygun öğrenme stiline farklı olacağı anlaşılabilir. Yaşam boyu öğrenmenin önemi nedeniyle bireylerin öğrenme stillerini belirlemeye yönelik birçok yöntem ve yaklaşım geliştirilmiştir. Özdemir ve arkadaşları, mühendislik fakültesi personelinin ve öğrencilerin en uygun öğrenme stillerini belirlemek için kural tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi geliştirilmiştir. Honey & Mumford ve McCarthy olmak üzere iki farklı öğrenme stili modeli kullanılmıştır. Honey & Mumford öğrenme stili mühendislik fakültesi öğrencilerini ve diğerlerini Activist, Reflector, Theorist ve Pragmatist olarak sınıflandırırken; McCarthy öğrenme stili, onları Innovative, Analytic, Common Sense ve Dynamic olarak sınıflandırır (Ozdemir vd., 2016).

El Aissaoui vd., öğrenme stillerini otomatik olarak tespit etmek için yaklaşım önermiştir. Bu amaçla, web kullanım madenciliği ile log dosyalarından öğrencilerin öğrenme yapısı tespit edilmiş ve kümeleme algoritmalarını kullanarak, çıkarılan öğrenme yapısını belirli bir öğrenme stili modeline göre sınıflandırılmıştır. Öğrenme stili modeli(LSM) olarak Felder-Silverman Modeli ve kümeleme algoritması olarak Fuzzy C-Means kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımın geleneksel yaklaşımı geride bıraktığını göstermektedir (El Aissaoui vd., 2019).

Al Duhayyim, yaptığı doktora çalışmasında bulanık mantık ile öğrencinin konudaki her bir kavram için bilgi düzeyini göstermek için renkli bir kavram haritası kullanarak etkili bir uyarlanabilir e-öğrenme sistemini oluşturmayı amaçlamıştır. Önerilen sistemde yönetici, öğrenci ve öğretmen rolleri yer almaktadır. Öğretmen, öğrenci modeli için pre-test ve post-test süreçlerini yürütür. Pre-test ile elde edilen kavram haritasına göre bulanık sistem ile öğrenci öğrenme yapısı oluşturulmaktadır. Kavram haritası her bir öğrenci için öğrenme düzeylerini göstermektedir (Al Duhayyim, 2019).

Lee vd., e-öğrenme sistemlerini iyileştirmeye yönelik öneriler sağlayarak değerlendirme ve analiz için performans matrisi ve bulanık değerlendirme tabanlı bir model oluşturmuştur. Performans matrisi öğrenci arayüzü, öğrenme topluluğu, sistem içeriği ve kişiselleştirme başlıklarında 13 adet bilgi içermektedir. Bu bilgileri içeren anket bilgisayar destekli dil öğrenen öğrencilere uygulanmış ve elde edilen sonuçlar bulanık mantık ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, e-öğrenme sisteminin kalitesini iyileştirmiş, kullanıcıların öğrenme etkinliğini, memnuniyetini ve katılımını artırmış ve sürdürülebilirlik sağlamıştır (Lee vd., 2019).

Azzi vd., e-öğrenim sisteminde öğrencinin öğrenme stilini tanımlayabilen sınıflandırıcı üzerinde çalışmıştır. Sınıflandırıcı olarak fuzzy c-means, öğrenci verilerini elde etmek için web kullanım madenciliği ve Felder-Silverman Öğrenme Stili Modeli kullanılmıştır (Azzi vd., 2020).

Naveed vd., web tabanlı e-öğrenim sisteminin farklı boyutlarından çeşitli faktörleri incelemek için grup karar verme (GDM) ve Fuzzy AHP (FAHP) ile analitik hiyerarşi sürecini (AHP) kullanmıştır. Web tabanlı E-Öğrenme sistemiyle ilişkili beş farklı boyut (öğrenci, eğitimci, tasarımcı ve içerik, sistem ve teknoloji, kurumsal yönetim) ve 25 faktör, literatür taraması yoluyla ortaya çıkarılmış ve analiz edilmiştir (Naveed vd., 2020).

Cervero vd., çevrimiçi öğretme-öğrenme sürecini etkileyen ana değişkenleri bulmak için öğrenci memnuniyetini analiz etmiştir. Bu amaçla, SPSS ve Matlab yazılımlarını kullanarak tanımlayıcı analizler, sınıflandırma ağaçları ve bulanık çıkarım sistemleri ile 1084 üniversite öğrencisine uygulanan anket kullanılmıştır. İlk olarak, çalışma örnekleminin ankete dayalı olarak nitel ve nicel analizi yapılmıştır. Ardından, sanal bir kampüste eğitim kalitesini değerlendirmek için en iyi modeli belirlemek için karar ağaçları kullanılmıştır. Bu süreçteki belirsizlikleri gidermek için bulanık çıkarım kullanılmıştır (Cervero vd., 2020).

Öğrenim yönetim sisteminin kalitesinin değerlendirilmesi, öğrenenlerin sonuçlarını iyileştirmek ve öğretim stratejisini geliştirmek için önemlidir. Pek çok ÖYS ortaya çıkmaktadır ve bu nedenle kurumların uygun ÖYS'yi seçmelerine yardımcı olmak, özellikle belirsizliklerin ve öznelliklerin dikkate alındığı bulanık ortamda çok önemli hale gelmektedir.

Ayouni vd., öğrenme yönetim sistemlerini değerlendirmek için bulanık Vikor yöntemini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar, karar vericiler için en önemli kriterin eşit derecede anlaşılabilirlik ve zaman davranışı olduğunu göstermektedir. Ek olarak, açık kaynak Moodle, yüksek öğretim kurumlarının standartlarını karşılamak için uygun LMS olarak belirlenmiştir. (Ayouni vd., 2021)

Öğrenme stili belirleme ve öğrenme modeli oluşturma üzerine yapılan çalışmalarda, öğrencinin sistem üzerindeki desenleri, zihinsel becerileri, mevcut öğrenme modellerinin uygulaması ve kavram haritası ön plana çıkmaktadır.

6. Sonuçlar

Posta yoluyla başlayan uzaktan eğitim teknolojinin gelişmesine paralel olarak günümüzde zaman ve mekan bağımsız olarak senkron veya asenkron şekilde gerçekleştirilmektedir. Kendine özgü pozitif yönleri olsa da öğrenci-öğretici etkileşiminin düşük olması, suiistimale açık olması veya objektif bir değerlendirme yapılamaması en önemli olumsuz yönleridir. Bu olumsuzlukları bertaraf etmek için birçok yöntem tercih edilmektedir. Bunlar;

- Eğitim süresinin %70 nin uzaktan, % 30 unun yüz yüze yapılması. Pandemi öncesi uzaktan eğitim gerçekleştiren yüksek öğretim kurumları bu şekilde uygulama gerçekleştirebiliyordu. Ancak, pandemi ile birlikte uzaktan eğitim uygulaması sadece bu sisteme kayıtlı olan öğrencilere değil genele yayıldığı için bu her zaman uygulanabilecek bir yöntem değildir.
- Derslerin hem senkron hem de asenkron olarak yapılması.
- Öğrencinin uzaktan eğitim sisteminde kaldığı süre boyunca hareket desenlerinin çıkartılması.
- Senkron eğitimde öğrencinin sesli ve görüntülü olarak takibi.
- Öğrenci performansını değerlendirmek için farklı objektif yöntemlere başvurulması.

Yukarıda verilen maddeler uzaktan eğitimi bir nebze daha etkileşimli ve objektif eğitime doğru yönlendirmektedir. Burada vurgulanması gereken önemli bir nokta ise eğitim ve öğretim kavramlarının birbirine karıştırılmasıdır. Bireyin davranışlarında kendi yaşantıları yoluyla, kasıtlı olarak istendik yönde davranış değişikliği meydana getirme sürecidir. Yani, sadece okulda olan süreç olmayıp doğumdan başlayıp yaşam boyu devam eder. Öğretim ise eğitimin okullarda gerçekleştirildiği kısımdır. Bu kapsamda, uzaktan eğitim ifadesinin mevcut kullanım şekliyle içi boş kalmaktadır. Bu nedenle, her ne kadar uzaktan eğitim olarak ifade etsek de bu amaçla kullanılan platformlar öğrenme yönetim sistemi olarak ifade edilmektedir.

Gerek açık kaynak kodlu gerekse de ücretli olarak hizmet veren birçok öğrenme yönetim sistemi mevcuttur. Kullanılacak yazılımın belirlenmesinde canlı ders süresi, katılımcı sınırı, kayıt özelliği gibi öncelikli gereksinimlerin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu gereksinimlere ek olarak bütçe, teknik altyapı ve kullanım kolaylığı da göz önüne alınmalıdır. Yaygın olarak kullanılan öğrenme yönetim sistemleri incelendiğinde asenkron süreç için hepsi benzer özelliklere sahip olup temel ihtiyaçları karşılamaktadır. Bunlarda en yaygın olarak kullanılan açık kaynak kodlu Moodle sistemidir. Birçok kurum bu sistemi kendine göre revize ederek kullanmaktadır. Açık kaynak kodlu

sistemlerin ücretsiz olmasına ek olarak diğer avantajı uzman teknik personel yardımıyla isteğe göre uyarlanabilmesidir.

Günümüzde kurumlar tümleşik öğrenme yönetim sistemlerini kullanmaktadır. Bu sistemler, senkron ve asenkron eğitime olanak tanıdığı gibi e-sınav yapılmasını da sağlamaktadır. Senkron eğitim için zoom, bigbluebutton, webex gibi kullanılan çok çeşitli uygulamalar mevcuttur. Bu uygulamaları birbirinden ayırt eden en büyük özellikler kullanıcı kapasitesi, kesintisiz hizmet için altyapı ve lisans durumudur.

Mevcut öğrenme yönetim sistemleri ölçme ve değerlendirme yöntemleri için teknik altyapıya sahiptir. Sınavın güvenilirliği ile ilgili önemli tereddütler bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi de öğrencinin farklı yöntemlerle kopyaya yönelmesidir. Bu nedenle, uzaktan eğitimde çevrimiçi gerçekleştirilen sınavlar akademik güvensizlik oluşturmaktadır. Bu güvensizliği ortadan kaldırmak için kimlik doğrulama ve çeşitli güvenlik yöntemleri (IP kısıtlaması, ayna kullanımı, kamera ile anlık görüntü alımı, tarayıcı üzerinde sınırlandırmalar, zaman sınırlaması, hareketsiz kalma süresi takibi) kullanılmaktadır. Kimlik doğrulama için biyometrik, bilgi veya nesne tabanlı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemler hem ekonomik hem de kullanım açısından maliyetli yöntemlerdir. Ayrıca, yukarıda belirtilen güvenilirlik durumları için çözüm sağlamayacaktır.

Gerek ölçme ve değerlendirme için gerekse de öğrenme sürecinin iyileştirilmesine yönelik literatürde yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. Yapay zeka kapsamında yapılan çalışmalar önceki bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmalar yoğunluklarına göre ele alınacak olursa, öğrenci performansı değerlendirme, öğrenme yönetim sistemi değerlendirme ve öğrenme modeli oluşturma çoğunlukla çalışılan konular olmuştur.

Öğrenci performansını değerlendirmeye yönelik çalışmalarda, anket, öğrenci profili, sınav puanları, sınav değerlendirme, materyal öneri sistemi, ders kazanımları, derse katılım durumu, sınırdan kalan notlar ve öğrencilerin psikolojik durumları öncelikli olarak ele alınmıştır.

Öğrenme stili belirleme ve öğrenme modeli oluşturma üzerine yapılan çalışmalarda, öğrencinin sistem üzerindeki desenleri, zihinsel becerileri, mevcut öğrenme modellerinin uygulaması ve kavram haritası ön plana çıkmaktadır.

Kaynakça

- Abu Bakar, N., Rosbi, S., & Bakar, A. A. (2020). Robust Estimation of Student Performance in Massive Open Online Course using Fuzzy Logic Approach. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 143-152.
- Abubakar, Y., & Ahmad, N. B. H. (2017). Prediction of Students' Performance in E-Learning Environment Using Random Forest. *International Journal of Innovative Computing*, 7(2), Article 2.
- Al Duhayyim, M. (2019). *Concept-based and fuzzy adaptive e-learning (CaFAE)* [Doctoral, University of Sussex]. <http://sro.sussex.ac.uk/id/eprint/86221>
- Almohammadi, K., Hagra, H., Yao, B., Alzahrani, A., Alghazzawi, D., & Aldabbagh, G. (2017). A type-2 fuzzy logic recommendation system for adaptive teaching. *Soft Computing*, 21(4), 965-979.
- Altun Türker, Y. (2012). *Uzaktan eğitim öğretim yönetim sisteminin bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile seçimi* [Master's Thesis]. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Annabestani, M., Rowhanimesh, A., Mizani, A., & Rezaei, A. (2019). Descriptive evaluation of students using fuzzy approximate reasoning. *arXiv:1905.02549 [cs]*.

- Antony Rosewelt, L., & Arokia Renjit, J. (2020). A content recommendation system for effective e-learning using embedded feature selection and fuzzy DT based CNN. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(1), 795-808.
- Aydoğdu Karaaslan, I. (2019). Açık Kaynak Kodlu ve Ticari Web Tabanlı Uzaktan Eğitim Yazılımlarının Karşılaştırılması. *Journal of International Social Research*, 12(62), 979-990.
- Ayouni, S., Menzli, L. J., Hajjej, F., Madeh, M., & Al-Otaibi, S. (2021). Fuzzy Vikor Application for Learning Management Systems Evaluation in Higher Education. <http://Services.Igi-Global.Com/Resolvedoi/Resolve.aspx?Doi=10.4018/IJICTE.2021040102>, 17(2), 17-35.
- Azimjonov, J., Selvi, İ. H., & Özbek, U. (2016). Evaluation of distance learning students performance using fuzzy logic. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 2(2), 87-97.
- Azzi, I., Jeghal, A., Radouane, A., Yahyaoui, A., & Tairi, H. (2020). A robust classification to predict learning styles in adaptive E-learning systems. *Education and Information Technologies*, 25(1), 437-448.
- Baran, H. (2020). Açık ve uzaktan eğitimde ölçme ve değerlendirme. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 28-40.
- Barlybayev, A., Sharipbay, A., Ulyukova, G., Sabyrov, T., & Kuzenbayev, B. (2016). Student's Performance Evaluation by Fuzzy Logic. *Procedia Computer Science*, 102, 98-105.
- Behr, A., Giese, M., K, H. D. T., & Theune, K. (2020). Early Prediction of University Dropouts – A Random Forest Approach. *Jahrbücher Für Nationalökonomie Und Statistik*, 240(6), 743-789.
- Bhattacharya, S., Chowdhury, S., & Roy, S. (2017). Enhancing Quality of Learning Experience Through Intelligent Agent in E-Learning. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 25(01), 31-52.
- Bozkurt, A., & Ucar, H. (2018). *E-Öğrenme ve E-Sınavlar: Çevrimiçi Ölçme Değerlendirme Süreçlerinde Kimlik Doğrulama Yöntemlerine İlişkin Öğrenen Görüşlerinin İncelenmesi*.
- Can, Ş. (2008). *Fen eğitiminde web tabanlı eğitim*. Celal. Bayar Üniversitesi.
- Cebi, A., & Karal, H. (2017). An application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) for evaluating students project. *Educational Research and Reviews*, 12(3), 120-132.
- Cerezo, R., Esteban, M., Sánchez-Santillán, M., & Núñez, J. C. (2017). Procrastinating Behavior in Computer-Based Learning Environments to Predict Performance: A Case Study in Moodle. *Frontiers in Psychology*, 8, 1403.
- Cervero, A., Castro-Lopez, A., Álvarez-Blanco, L., Esteban, M., & Bernardo, A. (2020). Evaluation of educational quality performance on virtual campuses using fuzzy inference systems. *PLOS ONE*, 15(5), e0232802.
- Cisco Webex. (t.y.). Geliş tarihi 27 Şubat 2021, gönderen <https://www.webex.com/>
- Çöpgeven, S., & Fırat, M. (2019). *Uzaktan eğitimde algoritmalar: 2007-2019 sistematik alanyazın taraması*.
- Dashko, Y., Vitchenko, O., & Kadomtsev, M. (2020). Soft models of competence assessment in professional education. *E3S Web of Conferences*, 210, 18011.
- David, J., Lobov, A., & Lanz, M. (2018). Leveraging Digital Twins for Assisted Learning of Flexible Manufacturing Systems. *2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 529-535.
- Dias, S. B., Dolianiti, F. S., Hadjileontiadou, S. J., Diniz, J. A., & Hadjileontiadis, L. J. (2020). On modeling the quality of concept mapping toward more intelligent online learning feedback: A fuzzy logic-based approach. *Universal Access in the Information Society*, 19(3), 485-498.
- Doğ, M. F. (2012). *Uzaktan Eğitim Sistemlerinde Kullanılabilirlik Ölçütleri* [Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi.

- Durak, G., Çankaya, S., & İzmirli, S. (2020). COVID-19 pandemi döneminde Türkiye'deki üniversitelerin uzaktan eğitim sistemlerinin incelenmesi. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi*, 14(1), 787-809.
- Echaz, J. R., & Vachtsevanos, G. J. (1995). Fuzzy Grading System. *IEEE Transactions on Education*, 38(2), 158-165.
- El Aissaoui, O., El Alami El Madani, Y., Oughdir, L., & El Alloui, Y. (2019). A fuzzy classification approach for learning style prediction based on web mining technique in e-learning environments. *Education and Information Technologies*, 24(3), 1943-1959.
- Ghatasheh, N. (2015). Knowledge Level Assessment in e-Learning Systems Using Machine Learning and User Activity Analysis. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 6(4).
- Gocheva-Ilieva, S., Kulina, H., & Ivanov, A. (2021). Assessment of Students' Achievements and Competencies in Mathematics Using CART and CART Ensembles and Bagging with Combined Model Improvement by MARS. *Mathematics*, 9(1), 62.
- GoToMeeting. (t.y.). Geliş tarihi 27 Şubat 2021, gönderen <https://www.gotomeeting.com/en-tr>
- Gültaş, İ. (2007). *Endüstri Mühendisliği Eğitiminde Matematik Ders İçeriklerinin Belirlenmesine Bulanık Ahp Yöntemi İle Çözüm Önerisi* [Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/5845>
- Hassan, S.-U., Waheed, H., Aljohani, N. R., Ali, M., Ventura, S., & Herrera, F. (2019). Virtual learning environment to predict withdrawal by leveraging deep learning. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(8), 1935-1952.
- Herand, D., & Hatipoğlu, Z. A. (2014). Uzaktan Eğitim ve Uzaktan Eğitim Platformları'nın Karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1).
- Hogo, M. A. (2010). Evaluation of e-learning systems based on fuzzy clustering models and statistical tools. *Expert Systems with Applications*, 37(10), 6891-6903.
- Hussain, M., Zhu, W., Zhang, W., & Abidi, S. M. R. (2018, Ekim 2). *Student Engagement Predictions in an e-Learning System and Their Impact on Student Course Assessment Scores* [Research Article]. Computational Intelligence and Neuroscience; Hindawi.
- Ingoley, S. N., & Bakal, J. W. (2012). Students' performance evaluation using fuzzy logic. *2012 Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE)*, 1-6.
- Işık, A. H., Karacı, A., Özkaraca, O., & Biroğul, S. (2010). Web tabanlı eş zamanlı (senkron) uzaktan eğitim sistemlerinin karşılaştırmalı analizi. *Akademik Bilişim*, 10-12.
- İşman, A. (1998). *Uzaktan eğitim: Genel tanımı, Türkiye'deki gelişimi, proje değerlendirmeleri*. Değişim Yayınları.
- Ivanova, V., & Zlatanov, B. (2019). Implementation of Fuzzy Functions Aimed at Fairer Grading of Students' Tests. *Education Sciences*, 9(3), 214.
- İzmirli, S., & Akyüz, H. İ. (2017). Eş Zamanlı Sanal Sınıf Yazılımlarının İncelenmesi. *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, 13(4), 788-810.
- Jamsandekar, S. S., & Mudholkar, R. R. (2013). *Performance Evaluation by Fuzzy Inference Technique*. /paper/Performance-Evaluation-by-Fuzzy-Inference-Technique-Jamsandekar-Mudholkar/3fdf3fe33aac8ce33873f6760c37af1c33dd3dc
- Jing, X., Yan, Z., Shen, Y., Pedrycz, W., & Yang, J. (2020). A Group-Based Distance Learning Method for Semisupervised Fuzzy Clustering. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 1-14.
- Jyothi, G., Parvathi, M. C., Srinivas, M. P., & Althaf, M. S. (2014). *Fuzzy Expert Model for Evaluation of Faculty Performance in Technical Educational Institutions*. 4(5), 10.
- Karacı, A. (2013). *Ses Sentezleme Ve Tanıma Teknolojilerini Kullanarak Türkçenin Ana Dil Olarak Öğretimi İçin Zeki Öğretim Sistemi Geliştirilmesi* [Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Karadimas, N. V. (2018). Comparing Learning Management Systems from Popularity Point of View. *2018 5th International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and Industry (MCSI)*, 141-146.
- Khawar, K., Munawar, S., & Naveed, N. (2020). Fuzzy Logic-based Expert System for Assessing Programming Course Performance of E-Learning Students. *Journal of Information Communication Technologies and Robotic Applications*, 54-64.
- Kotsiantis, S., Pierrakeas, C., & Pintelas, P. (2004). Predicting Students' Performance in Distance Learning Using Machine Learning Techniques. *Applied Artificial Intelligence*, 18(5), 411-426.
- Küçükönder, N., & İbrahim, K. I. R. (2016). Uzaktan Eğitim Uygulamalarında Açık Kaynak Kodlu Öğrenme Yönetim Sistemlerinin Yeniden Yapılandırılmasının İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(1).
- Lavolette, E., Venable, M. A., Gose, E., & Huang, E. (2010). Comparing synchronous virtual classrooms: Student, instructor and course designer perspectives. *TechTrends*, 54(5), 54-61.
- Lee, T.-S., Wang, C.-H., & Yu, C.-M. (2019). Fuzzy Evaluation Model for Enhancing E-Learning Systems. *Mathematics*, 7(10), 918.
- Lin, C.-B., Young, S. S.-C., Chan, T.-W., & Chen, Y.-H. (2005). Teacher-oriented adaptive Web-based environment for supporting practical teaching models: A case study of "school for all". *Computers & Education*, 44(2), 155-172.
- Lykourantzou, I., Giannoukos, I., Mpardis, G., Nikolopoulos, V., & Loumos, V. (2009). Early and dynamic student achievement prediction in e-learning courses using neural networks. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(2), 372-380.
- Machado, M. A. S., Moreira, T. D. R. G., Gomes, L. F. A. M., Caldeira, A. M., & Santos, D. J. (2016). A Fuzzy Logic Application in Virtual Education. *Procedia Computer Science*, 91, 19-26.
- Mahboob, T., Irfan, S., & Karamat, A. (2016). A machine learning approach for student assessment in E-learning using Quinlan's C4.5, Naive Bayes and Random Forest algorithms. *2016 19th International Multi-Topic Conference (INMIC)*, 1-8.
- Megahed, M., & Mohammed, A. (2020). Modeling adaptive E-Learning environment using facial expressions and fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, 157, 113460.
- Microsoft Teams. (t.y.). Geliş tarihi 27 Şubat 2021, gönderen <https://www.microsoft.com/tr-tr/microsoft-teams/group-chat-software>
- Moodle—Open-source learning platform | Moodle.org. (t.y.). Geliş tarihi 27 Şubat 2021, gönderen <https://moodle.org/?lang=tr>
- Naveed, Q. N., Qureshi, M. R. N., Tairan, N., Mohammad, A., Shaikh, A., Alsayed, A. O., Shah, A., & Alotaibi, F. M. (2020). Evaluating critical success factors in implementing E-learning system using multi-criteria decision-making. *PLOS ONE*, 15(5), e0231465.
- Ndukwe, I. G., Daniel, B. K., & Amadi, C. E. (2019). A Machine Learning Grading System Using Chatbots. İçinde S. Isotani, E. Millán, A. Ogan, P. Hastings, B. McLaren, & R. Luckin (Ed.), *Artificial Intelligence in Education* (ss. 365-368). Springer International Publishing.
- Ozdemir, A., Alaybeyoglu, A., Mulayim, N., & Balbal, K. F. (2016). Performance evaluation of learning styles based on fuzzy logic inference system. *Computer Applications in Engineering Education*, 24(6), 853-865.
- Ozek, M., Akpolat, Z., & Orhan, A. (2010). Web tabanlı akıllı öğretim sistemlerinde tip-2 bulanik mantik kullanarak öğrenci öğrenme stili modelleme. *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 37-44.
- Ölmez, Ç. (2010). *Uzaktan Eğitim Sistemlerindeki Soru Bankalarının Bulanik Mantık Yöntemi İle Analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi]. <http://acikerisim.aku.edu.tr/xmlui/handle/11630/6283>

- Özkaraca, O. (2005). *İnternet tabanlı güç elektroniği eğitimi* [PhD Thesis]. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-125.
- Pandey, H., & Singh, V. K. (2015). A Fuzzy Logic based Recommender System for E-Learning System with Multi-Agent Framework. *International Journal of Computer Applications*, 122(17), 18-21.
- Pariserum Perumal, S., Sannasi, G., & Arputharaj, K. (2019). An intelligent fuzzy rule-based e-learning recommendation system for dynamic user interests. *The Journal of Supercomputing*, 75(8), 5145-5160.
- Patriarchas, K., & Xenos, M. (2009). Modelling of distance education forum: Formal languages as interpretation methodology of messages in asynchronous text-based discussion. *Computers & Education*, 52(2), 438-448.
- Raval, S., & Taylor, B. (2020). Mathematical Modelling of Students' Academic Performance Evaluation Using Fuzzy Logic. *International Journal of Statistics and Reliability Engineering*, 7(1), 149-159.
- Robinson, C., Yeomans, M., Reich, J., Hulleman, C., & Gehlbach, H. (2016). Forecasting student achievement in MOOCs with natural language processing. *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge*, 383-387.
- Salmi, K., Magrez, H., & Ziyat, A. (2014). A fuzzy expert system in evaluation for E-learning. *2014 Third IEEE International Colloquium in Information Science and Technology (CIST)*, 225-229.
- Saraç, M. A. Y. (2020). Preparing a national roadmap for online higher education. *University World News*. <https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20200415120209980>
- Schullo, S., Hilbelink, A., Venable, M., & Barron, A. E. (2007). Selecting a virtual classroom system: Elluminate live vs. Macromedia breeze (adobe acrobat connect professional). *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*, 3(4), 331-345.
- Sevindik, T., & Cömert, Z. (2010). Using algorithms for evaluation in web based distance education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 9, 1777-1780.
- Silva, J. C. S., Ramos, J. L. C., Rodrigues, R. L., Gomes, A. S., Souza, F. D. F. D., & Maciel, A. M. A. (2016). An EDM Approach to the Analysis of Students' Engagement in Online Courses from Constructs of the Transactional Distance. *2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 230-231.
- Simonson, M., Smaldino, S., & Zvacek, S. M. (Ed.). (2014). *Teaching and Learning at a Distance: Foundations of Distance Education, 3rd Edition* (Revised ed. edition). Information Age Publishing.
- Sindre, G., & Vegendla, A. (2015). E-exams versus paper exams: A comparative analysis of cheating-related security threats and countermeasures. *NISK Journal*, 34-45.
- Sisovic, S., Matetic, M., & Bakaric, M. B. (2016). Clustering of imbalanced moodle data for early alert of student failure. *2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*, 165-170.
- Slater, S., & Baker, R. (2019). Forecasting future student mastery. *Distance Education*, 40(3), 380-394.
- Sokkhey, P., & Okazaki, T. (2019). Comparative Study of Prediction Models on High School Student Performance in Mathematics. *2019 34th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)*, 1-4.
- Turan, C., Reis, Z. A., & Gülseçen, S. (2018). *Bakış Takibi ile E-Öğrenme Materyalinde Konu Odağı ve Öğrenci Bakış Reflekslerinin İlgisini Değerlendirme*.
- Turan, H. (2018). Assessment factors affecting e-learning using fuzzy analytic hierarchy process and SWARA. *The International Journal of Engineering Education*, 34(3), 915-923.
- Ulutaş, F., & Ubuz, B. (2008). Matematik Eğitiminde Araştırmalar ve Eğilimler: 2000 ile 2006 Yılları Arası. *İlköğretim Online*, 7(3).
- Umer, R., Susnjak, T., Mathrani, A., & Suriadi, S. (2017). On predicting academic performance with process mining in learning analytics. *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 10(2), 160-176.
- Ünver, H. M. (2020). Design of a Fuzzy Logic Based Custom Exam Production System for High Performance. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 745-752.
- Vandamme, J.-P., Meskens, N., & Superby, J.-F. (2007). Predicting academic performance by data mining methods. *Education Economics*, 15(4), 405.
- Waheed, H., Hassan, S.-U., Aljohani, N. R., Hardman, J., Alelyani, S., & Nawaz, R. (2020). Predicting academic performance of students from VLE big data using deep learning models. *Computers in Human Behavior*, 104, 106189.
- Wardoyo, R., & Yuniarti, W. D. (2020). Analysis of Fuzzy Logic Modification for Student Assessment in e-Learning. *IJID (International Journal on Informatics for Development)*, 9(1), 29-36.
- Yıldırım, D., Tüzün, H., Çınar, M., Akıncı, A., Kalaycı, E., & Bilgiç, H. G. (2011). Uzaktan eğitimde kullanılan eşzamanlı sanal sınıf araçlarının karşılaştırılması. *Akademik Bilişim*, 451-456.
- Yıldız, O. (2014). *Makine öğrenmesi ile uzaktan eğitim öğrencilerinin performanslarının değerlendirilmesi—Tez Arşivi* [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi]. <https://tezarsivi.com/makine-ogrenmesi-ile-uzaktan-egitim-ogrencilerinin-performanslarinin-degerlendirilmesi>
- Yildiz, O., Bal, A., & Gulsecen, S. (2013). Improved fuzzy modelling to predict the academic performance of distance education students. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 14(5).
- Zoom. (t.y.). Geliş tarihi 27 Şubat 2021, gönderen <https://zoom.us/>



Üretim Süreçlerinde Ergonomik Riskler ve Risk Değerlendirme Yöntemleri: Cıvata Fabrikasında Bir Uygulama*

Sami Sever^{1**}, Mustafa Deste²

¹ İnönü Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6827-054X), sami.sever@inonu.edu.tr

² İnönü Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5781-6543), mustafa.deste@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 26 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.892538)

ATIF/REFERENCE: Sever S. & Deste, M. (2021). Üretim Süreçlerinde Ergonomik Riskler ve Risk Değerlendirme Yöntemleri: Cıvata Fabrikasında Bir Uygulama. *European Journal of Science and Technology*, (25), 417-441.

Öz

Günümüzde insan üretim faktörlerinin en önemli parçası konumundadır. Bu nedenle, insanın işe işin insana uyumunu amaçlayan ergonomi üretim süreçlerinde verimliliğin artırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Özellikle emek yoğun işletmelerde, ergonomik faktörlerin dikkate alınmaması, çalışan verimliliğini olumsuz etkilemekle birlikte çalışanlarda kalıcı mesleki hastalıklara sebep olabilmektedir. Bu çerçevede işletmelerde ergonomik risklerin ortadan kaldırılması, çalışanların performans ve verimlilikleri üzerinde son derece önemlidir.

Bu çalışmada, bir işletmede ergonomik risk değerlendirme yöntemleri kullanılarak süreçlerin analiz edilmesi ve çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Malatya 2. Organize Sanayiinde bağlantı elemanları sektöründe faaliyet gösteren bir fabrika uygulama yeri olarak seçilmiştir. Cıvata üretimi yapan fabrikada ana süreçlerden birisi olan tel çekme bölümü çalışmanın odak noktasını oluşturmuştur. Bu çerçevede öncelikle bölüm sorumlusu ve çalışanlarla derinlemesine mülakatlarla mevcut durum analizi gerçekleştirilmiş, yerleşim planı detaylı bir şekilde incelenmiş, fabrika ortamında aksiyon kameraları ile farklı açılardan, çeşitli zamanlarda yaklaşık 36 saat süreyle süreçlerin görüntü kaydı yapılmış ve tel çekiminde kullanılan makinelerin detaylı iş akış şemaları oluşturulmuştur. Çalışanların duruş pozisyonlarına ilişkin açı değerleri Dartfish paket programı yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen veriler çerçevesinde tel çekme bölümünde çalışan işçilerin kas ve iskelet sistemlerinde zorlanmalara neden olabilecek 55 süreç literatürde sıkça kullanılan REBA, RULA ve QEC yöntemleri aracılığıyla analiz edilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda özellikle kalın çapta tel çekimi yapan makinedeki görevlerin büyük çoğunluğunun çok yüksek risk ve yüksek risk grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. Ergonomik açıdan riskli olduğu tespit edilen görevler için iyileştirme önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, Ergonomik Risk, Ergonomik Risk Değerlendirme.

Ergonomic Risks And Risk Assessment Methods in Production Processes: An Application in The Bolt Factory

Abstract

Today, it is the most important part of human production factors. For this reason, ergonomics plays an important role, aiming the harmony of work to people and people to work. Especially in labor-intensive businesses, neglecting ergonomic factors negatively affects employee productivity and causes permanent occupational diseases in employees. In this context, the elimination of ergonomic risks in the enterprises is extremely important on the performance and productivity of the employees.

* Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı'nda "Üretim Süreçlerinde Ergonomik Riskler ve Risk Değerlendirme Yöntemleri: Cıvata Fabrikasında Bir Uygulama" başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir. Söz konusu tez İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimi tarafından 2019-1771 proje numarası ile desteklenmiştir.

In this study, it is aimed to analyze processes and offer solutions by using ergonomic risk assessment methods in an enterprise. In this context, a factory operating in the fasteners sector in Malatya 2nd Organized Industry was chosen as a place of application. Wire drawing section, which is one of the main processes in the factory that produces bolts, was the focal point of the study. In this framework, the current situation analysis was carried out primarily with in-depth interviews with department managers and employees, the layout plan was examined in detail, the process was recorded for approximately 36 hours at various times with action cameras in factory environment and detailed work flow charts of the machines used in wire drawing were created. Angle values of the employees' posture positions were calculated with the help of Dartfish package program. Within the framework of all these data, 55 processes that can cause difficulties in the muscle and skeletal systems of the wire drawing department have been analyzed through REBA, RULA and QEC methods, which are frequently used in the literature.

As a result of the analysis, it was determined that the vast majority of the tasks in the machine, especially those with thick wire drawing, are in the very high risk and high risk group. Improvement recommendations for tasks found to be ergonomically risky have been presented

Keywords: Ergonomic, Ergonomic Risk, Assessment of Ergonomic Risk.

1. Giriş

Teknolojik gelişmeler gün geçtikçe üretim süreçlerindeki makine ve robot kullanımını artırmaktadır. Fakat üretim süreçlerinde teknoloji kullanımı hangi düzeyde olursa olsun insan, üretim sürecinin önemli bir bileşenidir. Bununla birlikte Türkiye'de teknolojik gelişmelerin sanayiye yansımaları yavaş olmaktadır. Bu nedenle imalat sektöründe faaliyet gösteren birçok işletmede iş gücüne dayalı üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Emeğin yoğun olduğu işletmelerde, ergonomik faktörlerin dikkate alınmaması, çalışan verimliliğini olumsuz etkilemekte ve çalışmalarda kalıcı mesleki hastalıklara sebep olabilmektedir. Çalışma ortamının fiziki koşulları, ekipmanın niteliği, iş istasyonlarının düzeni, iş yerinin işçi sağlığı ve güvenliği açısından durumu, çalışanın verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Fabrikalarda iyileştirilmeye açık, fakat ergonomik açıdan detaylı bir inceleme yapılmadığından tespit edilemeyen birçok nokta var olabilmektedir. Bu noktaların tespit edilerek iyileştirilmesi sonucunda çalışanla çalışma ortamı arasındaki uyum ve iş yerindeki verimlilik artırılabilir.

Ergonomi uygulamalarının verimliliğe etkisinin içerisinde iş kazalarının önlenmesi de yer almaktadır. Kazaların şiddeti ne ölçüde olursa olsun çalışanlar ve çalışan yakınları bu tür durumlarda psikolojik veya fizyolojik olarak olumsuz etkilenmektedir. Fabrika ortamında meydana gelen iş kazaları, işlerin aksamasına, diğer çalışanların moral ve motivasyonlarının azalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca iş verenler açısından da önemli maddi kayıplarla sonuçlanabilmektedir. Yaşanan iş kazaları sonucunda bireysel ve toplumsal olarak maddi-manevi büyük kayıpların oluşması ergonominin bu alandaki katkısını daha da değerli kılmaktadır.

Bütün bunlar düşünüldüğünde işletmelerde ergonomik risklerin ortadan kaldırılmasının, çalışanların performansları ve verimlilikleri üzerinde önemli bir role sahip olduğu anlaşılmaktadır (Grossmeier, Mangen, Terry ve Haglund-Howieson, 2015). Yalnızca bu risklerin belirlenebilmesi ve ortadan kaldırılabilmesi işletmeler açısından kolay bir süreç değildir. Literatürde yer alan yöntemlerin kullanılması için faaliyetlerin tek tek incelenerek analiz edilmesi gerekmektedir. Bu da uzun bir gözlem süreciyle ve detaylı bir çalışmayla olabilecek bir durumdur. Bu çalışmada söz konusu fabrika için farklı risk değerlendirme yöntemleri kullanılarak çalışanlar üzerindeki ergonomik riskler belirlenmiş ve çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Araştırma kapsamında, Malatya 2. Organize sanayinde cıvata imalatı yapan bir fabrikada tel çekme bölümündeki çalışmalarda kas ve iskelet zorlanmasına sebep olan süreçleri, ergonomik risk değerlendirme yöntemleri aracılığıyla incelemek,

ergonomik açıdan riskli uygulamaları belirlemek ve bu uygulamaların iyileştirilmesine yönelik öneriler sunmak çalışmanın ana amaçları arasında yer almaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde ergonomi kavramı için yapılan tanımlamalara, ergonomi kavramının tarihsel gelişimine, ergonominin gelişiminde pay sahibi olan çalışmalara, ergonominin çeşitlerine ve ana hatlarıyla üretim süreçlerindeki ergonomik risklerin neler olduğuna yer verilmiştir. Literatürde yer alan farklı kategorilerdeki ergonomik risk değerlendirme yöntemlerine ilişkin genel bilgiler ve çalışmanın uygulama kısmında kullanılan REBA, RULA ve QEC yöntemleri hakkında detaylı bilgiler sonraki bölümde verilmiştir. Çalışmanın devam eden bölümünde ergonomik risk analizi uygulaması başlığı altında çalışmanın amacı, önemi ve kapsamına değinilerek sektör ve fabrika hakkında genel bilgilere, mevcut durum analizine, risklerin belirlenmesine ve iyileştirme önerilerine yer verilmiştir. Son bölümde ise ulaşılan sonuçlar detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2. İşletmelerinde Ergonomi ve Üretim Süreçlerinde Ergonomik Riskler

Ergonomi, insanların karmaşık sistemlerdeki rolüne, insan kullanımına yönelik ekipman ve tesislerin tasarımına, çevresel konforun ve güvenliğin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Dolayısıyla ergonomi işletmelerin tesis yerleşim planından, ürününün son tüketiciye ulaşıncaya kadar olan bütün süreçlerinde az veya çok yer alabilmektedir. Ergonomi uygulamalarını bünyesinde barındıran işletmeler etkinlik, verimlilik gibi çeşitli yararlar sağlayarak günümüz rekabet ortamında avantajlı konumda yer alabilmektedirler. Ergonomi uygulamaları ürün tasarımına, üretime veya çalışana yönelik olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Ürün tasarımına yönelik olduğunda, ergonominin temel işlevi ürünü daha kullanışlı kılmaktır. Daha kullanışlı bir ürün ise işletmenin müşteri memnuniyetini ve diğer faktörlere bağlı olarak pazar payını artırabilmektedir. Ürün tasarımının aksine, üretime yönelik olduğunda çalışanların güvenliği ve sağlığının yanı sıra, şirketin verimliliğini, kalitesini ve karlılığını artıracak süreci tasarlamakla ilgilenmektedir. Çalışana yönelik olduğunda ise ergonomi uygulamalarının temel hedefi, çalışanın sağlık ve güvenliği olmaktadır. Özellikle imalat işletmelerinde üretim süreçlerine yönelik ergonomi uygulamalarında en büyük hedef kaliteyi, verimliliği ve karlılığı artırmaktır (Karwowski ve Gavriel, 1998).

Bir işin yapılması esnasında öngörülen veya öngörülmemeyen, bilinen veya bilinmeyen birtakım riskler ve tehlikeler vardır. Söz konusu riskler ve tehlikeler, çevre, işçi, üretim ve üretim araçları için tehdit unsurudur. Ortaya çıktığında da telafisi mümkün

olmayan sonuçlar doğurabilir www.ekart.com.tr (05.11.2019). Çalışanlarda kas ve iskelet sistemi rahatsızlığına sebep olabilecek ergonomik riskler şunlardır (Esen ve Fiğlali, 2013):

- Çalışma istasyonlarının düzensiz yerleşimi,
- Uygun olmayan araç ve ekipman,
- Tekrarlanan işler,
- Mola yetersizliği,
- İşin hızı,
- Çalışma ortamının çevresel durumu (sıcaklık, nem, aydınlatma, titreşim),
- Yüksek güç talebi,
- Organizasyon yetersizliği,
- Zaman baskısı,
- Çalışanın fiziksel kapasitesi.

2.1. Üretim Süreçlerinde Ergonomik Riskler

Üretim süreçlerindeki ergonomik riskler, işletme ve çalışanlar açısından olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.1.1. İşletme Açısından Riskler

İşletme açısından oluşabilecek riskleri, iş gücü kaybı, sağlık ve iş gücü masraflarında artış, verimlilik ve kalite düşüşü şeklinde ifade etmek mümkündür.

İş gücü kaybı açısından bakıldığında, işletmeler için değer yaratan faktörlerin başında iş gücünün geldiği ve işletmelerin başarı ve başarısızlığında önemli bir role sahip olduğu bilinmektedir. İş gücü, emek faktörünün üretim faaliyetlerine katılan toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bir işletmede iş gören herkes iş gücü kapsamında değerlendirilmektedir. İş gören ise bilgi ve becerilerini örgütsel hedefler doğrultusunda kullanan ve işletmede istihdam edilen kişilerden oluşmaktadır (Öztürk ve Akbulut, 2011). Çeşitli sebeplerle çalışanların bu bilgi ve becerilerini işletme planları çerçevesinde kullanmaması veya çalışanların sorumluluklarındaki işleri yerine getirememeleri, iş gücü kaybı olarak ifade edilmektedir. SGK'nın devamsızlık verilerine göre Türkiye'de iş kazası ve meslek hastalıkları nedeniyle iş gücü kaybının 2017 yılında 3.996.895 gün olduğu görülmektedir (SGK, 2019). Bir iş görenin herhangi bir sebeple devamsızlık yapması durumunda o iş diğer çalışanlar tarafından yapılmaktadır. Bu durum diğer çalışanların iş yükünü artırmakta ve onlara ekstra ücret ödenmesine neden olabilmektedir (Küçük, Özbek ve Küçük, 2015). Türkiye geneline bakıldığında iş gücü kaybı nedeniyle işletmelerin maliyetlerinin önemli miktarda arttığını ifade etmek mümkündür. Literatür incelendiğinde iş gücü kaybının çeşitli nedenleri olduğu görülmektedir. Olumsuz algılanan çalışma ortamı koşulları, iş kazaları, meslek hastalıkları vb. nedenlerle işletmelerde iş gücü kaybının yaşandığı görülmektedir.

İmalat işletmelerinde çalışanların yaptığı hareketleri ve harcadığı çabayı azaltmaya yönelik çeşitli istasyonlar

tasarlanmakta ve çeşitli makineler kullanılmaktadır. Ancak iş istasyonlarındaki makinelerin sayıca az veya işlevlerinin yetersiz olması durumunda işçiler yüksek oranda bedensel güç kullanabilmektedir. Ergonomiyi göz ardı ederek tasarlanan iş istasyonları ise genellikle çalışanlar için uygunsuz vücut duruşu ve aktiviteleri gerektirebilmektedir. Bu tür durumlar, çalışanların yaralanmasına veya mesleki kas rahatsızlığı yaşamalarına sebep olabilmektedir. Çalışanların iş yerlerinde yaşadıkları kazalar ve mesleki rahatsızlıklar ise tedavi masrafları ve yüksek tazminat maliyetleri ile sonuçlanabilmektedir (Li, Gül ve Al-Hussein, 2019). Öte yandan işletmeler, mesleki rahatsızlık ve yaralanma sebebiyle işe devam edemeyen çalışanların yerine yeni veya geçici personel istihdam ettiklerinde, yeni personele verilecek eğitimle ilgili maliyetlerle de karşı karşıya kalabilmektedir.

Verimlilik ve kalite açısından bakıldığında, işletmelerin küresel rekabet ortamında hayatta kalabilmeleri için verimliliklerini sürekli olarak artırmak durumunda oldukları herkes tarafından bilinmektedir. Verimlilik en basit şekilde üretim miktarı(çıktı)/üretim faktörleri miktarı(girdi) ile ifade edilmektedir. Üretim süreçlerindeki ergonomik riskler, verimlilik üzerinde girdi miktarını artırıcı çıktı miktarını ise azaltıcı bir etkiye sahiptir. Çünkü yapılan araştırmalar iş gücünde yaşanacak %1'lik bir kaybın, üretim seviyesinde %2,5'luk bir düşüşe neden olduğunu göstermektedir (Eronat, 2004; Akt. Küçük vd., 2015). Ergonomi ve kalite arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için İsveç'te otomobil fabrikasında yapılan bir araştırmada ergonomik problemin olduğu işletmelerdeki kalite ile ergonomik problemin olmadığı işletmelerdeki kalite arasında üç kat fark olduğu ve kalite düşüklüğüne neden olan işlerin başında montajı zor olan işlerin yer aldığı belirtilmiştir (Eklund, 1995).

2.1.2. Çalışanlar Açısından Riskler

Çalışanlar açısından oluşabilecek riskleri, iş veriminde düşüş, yaşam kalitesinde düşüş ve sağlık problemlerinde artış şeklinde ifade etmek mümkündür.

İşletmeler açısından riskler kısmında ele alınan verimlilik kavramı aynı zamanda çalışanları da ilgilendirmektedir. Çünkü işletmenin genel verimliliği çalışanların verimliliğine bağlı olarak şekillenmektedir. Sağlık riskinin çalışanların üretkenliği üzerindeki etkisi bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarında, yüksek sağlık riskinin düşük iş verimliliğine neden olduğu ortaya konulmuştur (Boles, Pelletier ve Lynch, 2004; Burton, Conti, Chen, Schultz ve Edington, 1999; Grossmeier, Mangen, Terry ve Haglund-Howieson, 2015; Riedel, Lynch, Baase, Hymel ve Peterson, 2001). Tablo 1 işçi sağlığına yönelik iyileştirme girişimlerinin, kısa ve uzun vadeli kurumsal üretkenliği nasıl etkilediğini göstermektedir. Çalışanların verimliliği üzerine etkisi olan sağlık risklerinin başka bir deyişle ergonomik risk faktörlerinin işletmeler açısından oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Girişimler	Sonuçlar	Nihai Çıktılar
Hastalıkların Önlenmesi, Sağlığın Geliştirilmesi	Azalan Devamsızlık	Artan Verimlilik
Akut ve Kronik Hastalık Yönetimi	Gelişmiş Performans, Yaratıcılık, Motivasyon	
Çevre Sağlığı ve Güvenliği	Azalan Kazalar, Maliyet Tasarrufu	Azalan Maliyet
Sağlıklı Kurum Kültürü	Azalan Sağlık Bakım Maliyetleri	

Çalışanın yaşam kalitesinde düşüş, çalışanlar için oldukça önemli bir risk unsurudur. Yaşam kalitesi kavramı literatüre, 1948 yılında Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün sağlığı tanımlamasından sonra girmiştir. DSÖ sağlığı, herhangi bir hastalığın veya sakatlığın olmamasıyla birlikte fiziksel, zihinsel ve sosyal açıdan iyi olunması olarak tanımlamıştır. Bu iyi olma halinin ölçülmesi için yapılan çalışmalarda, yaşam kalitesi kavramı giderek önemli hale gelmiştir (Testa ve Simonson, 1996). Yaşam kalitesi, insanların içinde buldukları kültür ve değer sisteminde kendilerini algılayış şeklidir. Yaşam kalitesi, insanların inançlarını, etrafındakilerle olan sosyal ilişkilerini, fiziksel ve psikolojik durumunu kapsayan çok boyutlu bir kavramdır (Avcı ve Pala, 2004). Yaşam kalitesi kavramına fabrika çalışanları özelinde bakıldığında, çalışma koşulları, çalışma ortamı ve çalışma ilişkileri yaşam kalitesi için temel belirleyiciler olarak değerlendirilmektedir. Çalışanların etrafını çevreleyen bu unsurlar, çalışanların yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Çalışma ortamında bulunan ve çalışanın sağlığını etkileyebilecek başlıca risk etmenleri; sıcaklık, gürültü, gazlar, metaller, kimyasallar, ağır kaldırma, tekrarlanan hareketler, itme-çekme, dönme gibi hareketler olarak sayılabilir. Çalışanın bu risk etmenlerinden biri veya birkaçına maruz kalması durumunda sağlık sorunları başlamakta ve yaşam kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir (Uskun, Öztürk, Kışioğlu ve Sönmez, 2015).

Çalışanlar, yaptıkları işe bağlı olarak çeşitli sağlık problemleri ile karşı karşıya kalabilmektedirler. Karşılaşılan sağlık problemleri, iş kaynaklı veya çalışan kaynaklı olabilmektedir. Tekrarlı hareketler, yük kaldırma, titreşim, gürültü, taşıma ve uzun süreli aynı pozisyonlar iş kaynaklı; kondisyon yetersizliği, dikkat eksikliği, sigara kullanımı, yaşlanma ve aşırı kilo ise çalışan kaynaklı sağlık problemlerine neden olan başlıca etmenlerdir (Özcan ve Kesiktaş, 2007). En yaygın meslek hastalıkları bel, omuz ve boyun çevresinde, üst ve alt ekstremiterde görülmektedir. Karşılaşılan bu hastalıklar erken, orta ve ileri olmak üzere üç evreye ayrılmaktadır (Bilir, 2007):

- Erken evre hastalıkları: Çalışma esnasında ortaya çıkan ağrı ve yorulmalardır, performansı etkilemez, dinlenince geçmektedir.
- Orta evre hastalıkları: İşin başlangıcında görülen ağrı ve yorgunluk halidir, gece boyu sürmekte ve tekrarlanan işlerde performans düşüklüğüne neden olmaktadır.
- İleri evre hastalıkları: Aşırı derecede ağrı ve yorulmalar görülmektedir. Dinlenince geçmeyen bu ağrılar uykuya engel olmakta ve performansın ciddi oranda azalmasına neden olmaktadır.

Yapılan araştırmalar, ergonomi eğitiminin ve ergonomik iyileştirmelerin iş gücü kaybını, sigorta tazminat ödemelerini, meslek hastalıklarının sıklığını ve sebep olduğu maliyetleri azalttığını, iş memnuniyeti, yaşam kalitesini verimliliği, yatırımların geri dönüş hızını artırdığını göstermektedir (Amell ve Kumar, 2001; Bernacki, Guidera, Schaefer, Lavin ve Tsai, 1999; Foye, Cianca ve Prather, 2002; Silverstein ve Clark, 2004).

3. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

Teknolojik ilerlemeyle birlikte çalışanlar üzerindeki fiziksel iş yükü azalmasına rağmen, sanayi bakımından geri kalmış ülkelerde daha fazla olmak suretiyle gelişmekte olan ve hatta gelişmiş ülkelerde bile çalışanların mesleki görevlerini yerine getirmeye bağlı olarak kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları yaşadıkları görülebilmektedir. Bu durum bazı ekonomik kayıpları beraberinde getirerek bireyleri, örgütleri ve en nihayetinde tüm ülkeyi olumsuz yönde etkilemektedir (Özel ve Çetik, 2010). Yapılan araştırmalar, kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının önlenmesinin tedavi sürecinden daha az maliyetli olduğunu göstermektedir (Verbeek, Pulliainen ve Kankaanpää, 2009). Dolayısıyla mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlığına sebep olabilecek durumların risk düzeylerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması büyük önem taşımaktadır. Risk değerlendirmesi olarak adlandırılan bu sürece ilişkin literatürde çeşitli yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir (Deste ve Sever, 2019). Bu bölümde literatürde yer alan yöntemlere ilişkin literatür incelemesi yapılacaktır.

3.1. Literatür İncelemesi

İşle ilgili mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları, ağrılı kas, tendon ve sinir bozukluğu şeklinde kendisini göstermektedir. Sık tekrarlanan işler ve uygunsuz vücut duruşlarını içeren faaliyetler, çalışırken veya istirahat halinde çalışanlarda ağırlı olabilecek rahatsızlıklara sebep olabilmektedir. İşle ilgili rahatsızlık raporlarına bakıldığında rahatsızlıkların çoğunlukla sırt, üst uzuvlar, omuz ve boyun bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ergonomik risk değerlendirme/ölçüm yöntemlerinin de bu bölgelere yönelik olarak geliştirilmektedir (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2014). Literatürde ergonomik risk değerlendirme yöntemleri öznel değerlendirmeler, sistematik gözlemler ve doğrudan gözlemler olmak üzere üç kategori altında ele alınmaktadır (Burdorf ve Van Der Beek, 1999).

Öznel Değerlendirmeler: Çalışanların iş yerlerinde maruz kaldıkları riskleri kendilerinin değerlendirdiği bu kategori, işçi günlükleri, anketler ve kontrol listelerinden oluşmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı düşük maliyete ve kullanım

kolaylığına sahip olmasıdır. Bu yöntemde ergonomik analiz yapmak için yeterli bilgi ve tecrübesi olmayan kişiler, kontrol listelerini kullanarak ergonomik açıdan mevcut eksiklikleri tespit edebilmektedirler. Çalışanların maruz kalma algılarında yanılmalar olacağı için kontrol listeleri ve anketler yardımıyla yapılan ergonomik analizlerin geçerliliği ve güvenilirliği tam sağlanamamaktadır (G. C. David, 2005). Fakat analiz sonuçlarına göre daha kapsamlı ergonomik analizlerin hangi alanlarda yapılması gerektiği yönünde öngörü oluşabilmektedir.

Sistemik gözlemler: Bu kategori kendi arasında basit gözlemsel teknikler ve gelişmiş gözlemsel teknikler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Basit gözlemsel tekniklerde, bir gözlemci

çalışanın pozisyon değişimlerini izleyerek önceden tanımlanmış puan tablosuna kaydetmektedir. Çok çeşitli iş yerlerinde düşük maliyetle kullanılabilen yöntemlerin uygulaması çok zaman almasına rağmen geçerliliği ve güvenilirliği oldukça yüksektir. Yöntemler genellikle statik duruş gerektiren ve tekrarlayan işlerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Hali hazırda ergonomik riskleri değerlendirmek için birçok sistematik gözlem yöntemi yer almaktadır. Değerlendirilen maruziyet faktör sayıları yöntemden yönteme değişiklik göstermektedir (David, 2005). Literatürde yer alan başlıca basit gözlemsel yöntemler ile yöntemlerin göstergeleri ve değerlendirdikleri vücut bölümleri aşağıdaki Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Basit Gözlemsel Değerlendirme Araçları (Andreas ve Johanssons, 2018)

Yöntem ve Kaynak	Vücut bölümü	Yoğunluk	Frekans	Süre
ALLA	Alt bölüm	Evet (Duruş)	-	√
ART	Eller/parmaklar	Kısmi (Duruş)	√	Kısmi
CTD risk endeksi	Üst ekstremité	Evet (Güç ve duruş)	√	-
HAL	Bilek/eller	Evet (Güç)	√	-
HARM	Boyun/Omuz, Alt kol/bilek	Evet (Güç ve duruş)	√	√
KC	El, alt kol	Evet (Güç ve duruş)	Kısmi	-
KIM I-II, Kaldırma/ Çekme/ İtme	Gövde	Evet (Güç ve duruş)	√	√
KIM III Elle çalışma	Kol/Bilek	Evet (Güç ve duruş)	√	√
LUBA	Boyun, omuzlar, üst sırt, alt sırt, dirsekler ve bilekler / eller	Evet (Duruş)	-	-
OCRA	Üst ekstremité	Evet (Güç ve duruş)	√	-
OWAS	Tüm vücut	Evet (Duruş)	√	-
PATH	Tüm vücut	Evet (Güç ve duruş)	√	-
PLIBEL	Tüm vücut	Evet (Güç ve duruş)	√	-
QEC	Sırt, boyun, kol, el	Evet (Duruş)	-	Kısmi
RAMP	Sırt, üst ekstremité	Evet (Güç ve duruş)	√	√
REBA	Tüm vücut	Evet (Duruş)	-	-
RULA	Tüm vücut	Evet (Duruş)	-	-
SI	El, alt kol	Evet (Duruş)	√	√
WERA	Tüm vücut	Evet (Güç ve duruş)	√	√

Gelişmiş gözlemsel teknikler daha çok dinamik aktivitelerin yoğun olduğu işlerdeki duruş pozisyonlarını değerlendirebilmek için geliştirilmiştir. Bu metotta veriler video kayıt cihazı ile toplanmakta ve bilgisayar ortamına aktarılarak 3D Match, Ergo-Man, 3DSSPP, Jack. ve Sammie Cad gibi programlar aracılığıyla analiz yapılmaktadır(David, 2005).

Doğrudan gözlemler: Teknoloji alanındaki ilerlemeyle birlikte çalışanların duruşları, hareketleri ve katlandıkları yükler çeşitli teknik yöntemlerle analiz edilmeye başlandı. Bu kategoride çalışan duruşları, kas aktiviteleri, vücut hareketleri ve güçler hakkında detaylı bilgiler veren ivme ölçer, akıllı giysiler, açı ölçer ve elektromiyografi gibi çeşitli teknik araçlar kullanılarak ergonomik analizler yapılmaktadır. Bu araçlarla yapılan ergonomik analizlerde, diğer kategorilerdeki yöntemlere kıyasla daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Fakat gözlemsel ve öznel değerlendirme yöntemlerinden daha maliyetli ve uzman kişiler tarafından ele alınabilmektedir (Andreas ve Johanssons, 2018). Yazarlar bu üç kategoriyi geçerlilik ve güvenilirlik bakımından karşılaştırdığında, sistematik gözlemlerin öznel değerlendirmelerin üzerinde olduğunu, doğrudan gözlemlerin de sistematik gözlemlerin üzerinde olduğunu ifade etmişlerdir (Village, Trask, Luong, Chow, Johnson, Koehoorn ve Teschke, 2009).

3.2. Araştırmada Kullanılan Yöntemler

Bu bölümde araştırmada kullanılan yöntemlere ilişkin literatür bilgisi aktarılmıştır.

3.2.1. Reba

REBA metodu, Hignett ve McAtamney tarafından geliştirilmiştir. REBA (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme) yönteminde tüm vücut pratik bir şekilde ergonomik açıdan değerlendirilmektedir. McAtamney ve Hignett, (2000), REBA metodunu özellikle sağlık ve diğer hizmet sektörlerinde bulunan öngörülemeden çalışma duruşlarını kolaylıkla değerlendirmek için geliştirdiklerini belirtmektedir. Gözlemcinin yönteme ilişkin detaylı bilgisine ihtiyaç duyulmaması ve kolaylıkla uygulanabilmesi, yöntemin avantajlarından. Dezavantajı ise farklı işlerde yapılan uygulamalar için ideal gözlem süresinin ve gözlem aralıklarının belirsiz olmasıdır (Ünver Okan ve Kaya, 2015).

Literatür incelendiğinde birçok çalışmada REBA yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Sağiroğlu, Coşkun ve Erginel (2015), çalışmalarında, kompresör imalat fabrikasında çalışan işçilerin ergonomik risklerini REBA yöntemi ile değerlendirmiş ve iyileştirme gerçekleştirmişlerdir. Çalışma esnasında birden çok pozisyonu önemli bir zaman, çaba ve maliyet olmadan değerlendirebildiği için REBA yöntemi tercih edilmiştir. 10 farklı iş istasyonunun değerlendirildiği çalışmada,

krank sepetinin yerinin ve açısının değiştirilmesi, operatörün koltuk yüksekliğinin ayarlanması, fazla yüklerin olduğu istasyonlara taşıma amaçlı vakumlu pergel vinç alınması ve pozisyonlanabilir kaldırma aracının alınması gibi iyileştirme önerilerinde bulunularak ergonomik riskler azaltılmıştır.

Ünver Okan ve Kaya (2015), Trabzon-Of orman fidanlığındaki repikaj işlerinde mevsimlik çalışan 70 kadın işçinin çalışma duruşlarını REBA yöntemi ile analiz ederek risk düzeylerini belirlemişlerdir. Çalışma esnasındaki duruş pozisyonları video kaydına alınmış ve söz konusu kayıtlar ofis ortamında belirli aralıklarla durdurulup REBA yöntemine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda repikaj işinin risk puanının 7 olduğunu tespit etmişler ve bu risk puanıyla faaliyetin orta risk grubunda yer aldığını belirtmişlerdir. Sonuç kısmında ise iş yerinin ergonomik bir düzenlemeye ihtiyaç duyduğunu ve çalışanların da çalışma duruşları konusunda bilinçlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Lasota (2014), mağaza ve internet üzerinden kitap satan bir şirkette, bir siparişin hazırlanma sürecine ilişkin siparişi bulma, ambalajlama ve tasnif etme faaliyetlerini değerlendirmek için REBA yöntemini kullanmıştır. Değerlendirme sonucunda beş duruşun (AC)2, yedi duruşun (AC)3 ve bir duruşun (AC)4 eylem kategorisinde yer aldığını belirlemiştir. Sırtın bükük ve dönük olması, kolların gövdenin üzerinde olması, çalışanın ayakta durması ve paketin ağırlığı riski artıran ana faktörler arasında olduğunu ifade etmiştir. Sipariş hazırlama işindeki çalışanların yüksek düzeyde kas ve iskelet sistemi rahatsızlığı riskine maruz kaldıklarını tespit etmiş ve en kısa zamanda iş istasyonlarının yeniden tasarlanmasının ve çalışma yöntemlerinin tekrar gözden geçirilmesinin gerekli olduğunu vurgulamıştır. Değişikliğin etkinliğini ölçmek için ergonomik düzeltmeler yapıldıktan sonra REBA yöntemiyle aynı faaliyetlerin değerlendirilmesini önermiştir.

Atıcı, Gönen ve Oral (2015), çalışmalarında otomotiv sektörü için kablo imalatı yapan fabrikadaki işçilerin çalışma pozisyonlarını değerlendirmek ve iyileştirmek amacıyla REBA yöntemini kullanmışlardır. Kablo döşeme işlemindeki çalışma duruşları fotoğraflanarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda pozisyonlara ilişkin REBA puanı yüksek çıkmış ve “kısa zaman içerisinde önlem gerektiği” ifade edilmiştir. Çalışanlardaki boy farklılıklarının sabit olarak ilerleyen konveyör hattında uygun olmayan duruş pozisyonlarına neden olduğu belirtilmiş ve operatörün boyuna ve çalışma duruşuna göre yükselip alçalabilen montaj masası iyileştirme önerisi olarak sunulmuştur.

Savitri, Mulyati ve Aziz (2012), bahçe işinde çalışan yedi işçinin yaptığı işleri 23 parçaya ayırarak işçilerin çalışma pozisyonlarını değerlendirmişlerdir. İşle ilgili ağrı semptomlarının varlığını araştırmak, uygunsuz çalışma duruşlarıyla ilgili riskleri belirlemek ve çalışma yöntemlerini iyileştirilmek amacıyla bu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir.

Çalışmada, işle ilgili ağrı oluşumunu tespit etmek için Nordic Kas-İskelet Sistemi Anketi kullanılırken; çalışma duruşlarına ilişkin risk değerlendirmesi Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (REBA) yöntemi ile yapılmıştır. Sonuçlar, tüm işçilerin, işin öncesinde ve sonrasında ağrı semptomları yaşadığını göstermiştir. REBA analizine göre işlerin %82,6'sının orta, %10,9'unun yüksek, %4,3'ünün çok yüksek ve %2,2'sinin düşük seviye risk grubunda olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında ise riskli olan çalışma duruşlarına ilişkin iyileştirme önerileri geliştirilmiştir.

REBA yönteminin uygulanması beş adımda gerçekleşmektedir (Koç ve Testik, 2016):

- İşin gözlemlenmesi
- Değerlendirilecek pozisyonların seçilmesi
- Pozisyonların puanlanması
- REBA puanının hesaplanması
- Eylem seviyesinin ve risk düzeyinin belirlenmesi

1. Adım: İşin Gözlemlenmesi

İşyeri düzeni, ekipman kullanımı ve çalışanın risk alma konusundaki davranışı da dahil olmak üzere yapılan iş gözlemlenir. Eğer mümkünse kamera veya fotoğraf makinesi ile veriler kaydedilir. Kayıt esnasında ortaya çıkabilecek eksiklikleri ve açığı kayıplarını minimize etmek için birden fazla görüntünün alınması önerilmektedir.

2. Adım: Değerlendirilecek Pozisyonun Seçilmesi

Birinci adımdaki gözlemden sonra hangi pozisyonun değerlendirileceğine karar verilir. Pozisyon seçiminde aşağıdaki kriterlerden bir veya birkaçı dikkate alınabilir;

- En sık tekrar eden duruş
- En uzun süren duruş
- Aşırı kuvvet veya kas kullanımını gerektiren duruş
- Özellikle kuvvet uygulama esnasında ortaya çıkan dengesiz veya uygunsuz duruş
- Önlem, bilgilendirme veya diğer değişikliklerle iyileştirilmesi muhtemel duruş

3. Adım: Pozisyonların Puanlanması

REBA yöntemi vücudu A ve B şeklinde iki gruba ayırmaktadır. A grubunda, boyun, gövde ve bacaklar yer alırken; B grubunda, üst kol, alt kol ve el bilekler yer almaktadır. Şekil 1'de A, Şekil 2'de B grubu için puanlama kriterleri yer almaktadır. Şekillerden de anlaşılacağı üzere vücut bölümlerinin duruş esnasında oluşturduğu açılara göre puanlar verilmektedir. Puanlar duruma bağlı olarak artırılıp azaltılabilmektedir. Örneğin B grubundaki üst kol, açısına göre puanlandıktan sonra pozisyonda omuzda yükselme de varsa hesaplanan puana 1 puan eklenir.

GÖVDE			
Hareket	Skor	Skor Değişimi:	
Dik Duruş	1	Eğer bükme ya da yana doğru dönme hareketi de varsa skora +1 ekle	
0°-20° fleksiyon 0°-20° ekstansiyon	2		
20°-60° fleksiyon > 20° ekstansiyon	3		
> 60° fleksiyon	4		
BOYUN			
Hareket	Skor	Skor Değişimi:	
0°-20° fleksiyon	1	Eğer bükme ya da yana doğru dönme hareketi de varsa skora +1 ekle	
> 20° fleksiyon veya ekstansiyon	2		
BACAK			
Hareket	Skor	Skor Değişimi:	
Ağırlık iki bacak üstünde	1	Eğer dizlerde 30°-60° arası fleksiyon varsa skora +1, Eğer >60° fleksiyon varsa skora +2 ekle	
Ağırlık tek bacak üstünde, dengesiz durumda	2		

Şekil 1. Reba Yöntemi Grup A Puanlaması (Koç ve Testik, 2016)

ÜST KOLLAR			
Hareket	Skor	Skor Değişimi:	
20° kadar olan ekstansiyon veya fleksiyon	1	Eğer kol dönmüş veya dışarı çekilmişse: +1 Omuz yükseltilmiş durumdaysa: +1 Eğer kol destekleniyorsa: -1	
>20° ekstansiyon 20°- 45° arası fleksiyon	2		
45°-90° arası fleksiyon	3		
> 90° fleksiyon	4		
ALT KOLLAR			
Hareket	Skor		
60°-100° fleksiyon	1		
<60° fleksiyon >100° fleksiyon	2		
BİLEK			
Hareket	Skor	Skor Değişimi:	
0°-15° arası ekstansiyon veya fleksiyon	1	Bilek dönmüş durumdaysa: +1	
>15° ekstansiyon veya fleksiyon	2		

Şekil 2. Reba Yöntemi Grup B Puanlaması (Koç ve Testik, 2016)

4. Adım: REBA Puanının Hesaplanması

Şekil 1 ve Şekil 2'de yer alan vücut bölümleri için ayrı ayrı puanlamalar yapıldıktan sonra puanları tek bir puana dönüştürmek için öncelikle Tablo 6'daki puanlama cetveli kullanılır. Tablo 6'da belirlenen puanlar, Şekil 3'deki diyagramın üst tarafındaki boş kutucukların soluna ve sağına kaydedilir. Gövde, boyun ve bacak için kaydedilen puana, Tablo 3'deki yük/kuvvet puanı eklenerek A puanı; üst kol alt kol ve bilek için

kaydedilen puana Tablo 4'deki kavrama puanı eklenerek B puanı elde edilir. A ve B puanları Tablo 7'deki puanlama matrisinde birleştirilerek C puanı elde edilir. Son olarak C puanına, varsa Tablo 5'deki hareket puanı eklenerek REBA puanı elde edilir.

5. Adım: Eylem Seviyesinin Belirlenmesi

REBA puanı hesaplandıktan sonra Tablo 8'de yer alan Eylem Seviyeleri kullanılarak puanın risk seviyesi ve risk puanına göre uygulanması gereken eylem belirlenir.

Tablo 3. Reba Yöntemi Yük/Kuvvet Puanlaması (Koç ve Testik, 2016)

0	1	2	+1
<5 kg	5–10 kg	>10 kg	Ani veya hızla artan güç kullanımı gerektiğinde

Tablo 4. Reba Yöntemi Yük Kavrama Puanlaması (Koç ve Testik, 2016)

0 (İyi)	1 (Orta)	2 (Zayıf)	3 (Kabul Edilemez)
Elle iyi kavrama ve orta vade güçlü kavrama	Elle kavrama kabul edilebilir; ancak ideal değil ya da kavrama, vücudun başka bir bölümüyle kabul edilebilir	Mümkün olmasına rağmen elle kavrama kabul edilemez	Elle kavrama uygunsuz ve güvensiz; tutacak yok ya da kavrama, vücudun diğer bölümlerinin kullanılmasıyla kabul edilemez

Tablo 5. Reba Yöntemi Hareket Puanlaması (Koç ve Testik, 2016)

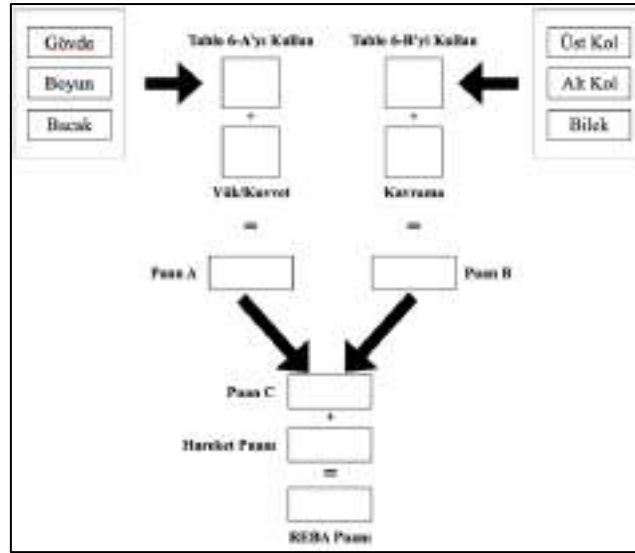
Skor	Tanım
+1	Bir ya da daha fazla vücut bölümü statikse, örneğin 1 dakikadan daha uzun süre tutma
+1	Tekrarlanan kısa aralıklı eylemler varsa, örneğin dakikada 4 kereden fazla tekrarlama (yürüme hariç)
+1	Eylem, duruşta hızlı büyük değişikliklere neden oluyorsa ya da dengesiz duruş

Tablo 6. Reba Yöntemi Grup A-B Vücut Bölümleri Puanlaması (Koç ve Testik, 2016)

Tablo A	BOYUN												Tablo B	ALT KOL							
	1				2				3					1			2				
	BACAĞLAR				BACAĞLAR				BACAĞLAR					BİLEK			BİLEK				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3	1	2	3		
GÖVDE	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	4	5	6	ÜST KOL	1	1	2	2	1	2	3
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7		2	1	2	3	2	3	4
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8		3	3	4	5	4	5	5
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9		4	4	5	5	5	6	7
	5	4	5	6	7	6	7	8	9	7	8	9	9		5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9	6	7	8	8	8	9		9						

Tablo 7. Reba Yöntemi Genel Puanlama (Sevimli, Atıcı Ulusu ve Gündüz, 2018)

Tablo C	GRUP B PUANI												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
GRUP A PUANI	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	2	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	3	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	4	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	5	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12



Şekil 1. Reba Yöntemi Puanlama Diyagramı (Koç ve Testik, 2016)

Tablo Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..1. Reba Yöntemi Eylem Seviyeleri (Koç ve Testik, 2016)

REBA Puanı	Risk Seviyesi	Eylem Seviyesi	Önlem
1	İhmal Edilebilir	0	Gerekli Değil
2-3	Düşük	1	Gerekli Olabilir
4-7	Orta	2	Gerekli
8-10	Yüksek	3	Kısa Süre İçerisinde Gerekli
11-15	Çok Yüksek	4	Acilen Gerekli

3.2.2. Rula

Nottingham Üniversitesinden McAtamney ve Corlett tarafından tasarlanmış ve 2 Nisan 1993'te Applied Ergonomics dergisinin 24. cildinin 2. sayısında yayımlanmıştır (McAtamney ve Corlett, 1993). RULA (Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi), işçilerin maruziyetlerine bağlı olarak üst uzuvlarında bozukluk oluşturacak risk faktörlerini araştırmak için geliştirilmiştir. Metot, kolay kullanım için tasarlandığından kullanıcılarının ileri düzeyde ergonomi bilgisine sahip olması gerekmemektedir (Middlesworth, 2019).

Çalışma duruşlarının incelenmesi için tasarlanmış olan RULA, farklı ülkelerde çeşitli sektörlerde yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmalardan birisinde Rahman, (2014) Bangladeş'in önde gelen seramik endüstrisinde faaliyet göstermekte olan fabrikadaki işçilerin çalışma duruşlarını RULA aracılığıyla değerlendirmiştir. Çalışmada amaç, çalışanların farklı vücut bölgeleriyle ilişkili risk düzeyinin belirlenmesi ve iyi veya kötü çalışan duruşlarının tespit edilmesi şeklinde açıklanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışma sonucunda, birçok işçinin üst ekstremité rahatsızlığına maruz kaldığı tespit edilmiştir. RULA analizi ile üretim bölümünde çalışan işçiler için risksiz herhangi bir duruşun olmadığı ortaya çıkmıştır. Analizlerin nihai sonucunda, işçilerin %15,38'i için duruş pozisyonları daha fazla araştırılmalı, işçilerin %41,02'si için duruş pozisyonları incelenmeli ve kısa süre içerisinde değiştirilmeli ve işçilerin %43,59'u için duruş pozisyonları acilen değiştirilmeli, şeklinde ifade edilmiştir.

Massacesi vd., (2003) yaptıkları bir çalışmada profesyonel sürücülerin duruş pozisyonlarını RULA yöntemi ile analiz etmişlerdir. Çöp toplama ve yol yıkama araçlarını kullanan 77 şoför, incelemeye alınmıştır. Çalışmada denekler tarafından ifade edilen vücut ağrıları ile vücut bölümlerine ilişkin tespit edilen

puanlar arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu bildirilmiştir. Özellikle boyun bölgesi puanı yüksek çıkmış ve boynun yoğun yük altında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ayarlanabilir koltuk kullanan sürücüler ile kullanmayan sürücülerin RULA puanları arasında farklı sonuçlar tespit edilmiştir. Kamyonlarda ayarlanabilir koltuk kullanımının rahatsızlıkları azaltabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmayla RULA yönteminin sürücülerin duruş pozisyonlarını değerlendirmede hızlı ve uygun bir risk değerlendirme aracı olduğu kanıtlanmıştır.

Sencer, Eldem, Top ve Şahin, (2019) yaptıkları çalışma kapsamında, zemin yüksekliği yer yer farklı olan ve teknik açıdan maksimum sayıda açılır-kapanır havalandırma penceresi bulunan otobüsteki yolcuların, koltuğa oturarak pencereyi tamamen açması halinde ortaya çıkabilecek duruş pozisyonlarının ergonomik analizinde CATIA V5 R21 programının RULA aracını kullanmışlardır. Otobüsün sol ve sağ pencerelerinin altında bulunan bütün koltuklar ayrı ayrı değerlendirmeye alınmıştır. Çalışma sonuç kısmında, zemin yüksekliği farklı olan koltuklar için farklı ergonomik risk değerlerinin olduğu tespit edilmiştir. 1, 2, 5, ve 6 nolu koltukların risk puanlarının, 3,4 ve 7 nolu koltukların risk puanlarına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Risk puanı 4 olarak hesaplanan 3, 4 ve 7 nolu koltuklar için acil bir değişikliğe ihtiyaç olmadığı açıklanmıştır.

Neşeli, (2016) tez çalışmasında çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren kalıp imalat fabrikası çalışanları için ergonomik analiz yapmıştır. Çalışmada öncelikle her bir iş için iş tanımlaması yapılmıştır. Sonrasında ise bu işlerin yapımı esnasındaki duruşlar RULA ve REBA yöntemleri ile analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında risk analizinde hesaplanan puanlar değerlendirilmiş ve risk puanına göre iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur.

RULA yönteminin uygulanması 3 adımdan oluşmaktadır (Neşeli, 2016):

- Değerlendirilecek duruşun belirlenmesi,
- Duruşların puanlanması,
- Eylem seviyesinin belirlenmesi,

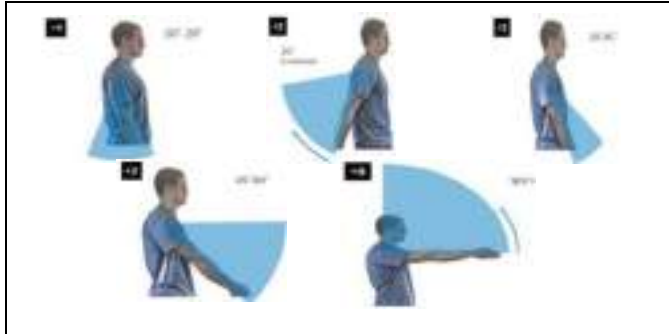

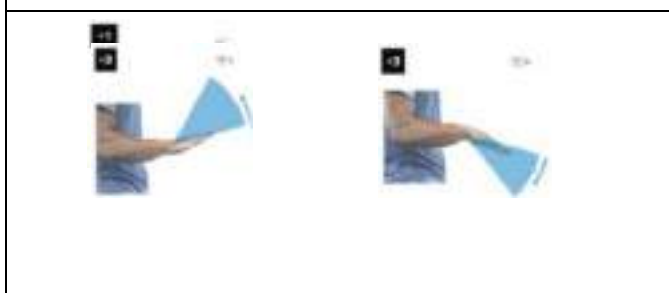
1. Adım: Değerlendirilecek duruşun belirlenmesi

RULA değerlendirmesi, çalışma döngüsünde bir anı temsil etmektedir. Bu sebeple değerlendirilecek duruşlar seçilmeden önce, çalışma döngüsü içerisindeki bütün duruşların dikkatli bir

şekilde gözlemlenmesi gerekmektedir. Sonrasında ise bu duruşlardan en sık tekrar eden, en uzun süren veya çalışmanı en çok zorlayan duruşlar değerlendirilmek üzere seçilmektedir.

2. Adım: Duruşların Puanlanması




RULA yöntemi de tıpkı REBA yöntemi gibi vücudu A ve B şeklinde iki gruba ayırmaktadır. A grubunda, üst kol, alt kol ve el bilekler yer alırken; B grubunda, boyun, gövde ve bacaklar yer almaktadır. Şekil 2.4.'de A, Şekil 2.5.'de B grubu için puanlama kriterleri yer almaktadır.

		ÜST KOLLAR		
		Hareket	Skor	Değişim Puanı:
	20° kadar ekstansiyon veya fleksiyon varsa		1	Eğer omuz yükseltilmiş durumdaysa: +1 Eğer kol sağa veya sola doğru açılmışsa: +1 Eğer kol destekleniyorsa: -1
	>20° ekstansiyon veya 20°-45° arası fleksiyon varsa		2	
	45°-90° arası fleksiyon varsa		3	
	> 90° fleksiyon varsa		4	
		ALT KOLLAR		
		Hareket	Skor	Değişim Puanı:
	60°-100° fleksiyon		1	Eğer kol yana doğru açılıyorsa: +1
	<60° fleksiyon >100° fleksiyon		2	
		BİLEK		
		Hareket	Skor	Not: Eğer bilekte bükülme varsa skor 1 puan artırılır.
	Ektansiyon ve fleksiyon yoksa		1	Değişim Puanı: Eğer bilek orta seviyede bükülmüşse: +1 Eğer bilek bükülebilecek son noktada veya son noktaya yakınsa: +2
	0°-15° arası ekstansiyon veya fleksiyon		2	
	>15° ekstansiyon veya fleksiyon		3	

Şekil 4. Rula Yöntemi Grup A Puanlaması (Middlesworth, 2019)

Şekillerde belirtilen kriterlere göre duruşlara puanlar verilmektedir. Puanlar duruma bağlı olarak artırılıp azaltılabilmektedir. Örneğin A grubundaki üst kol, açısına göre puanlandıktan sonra duruşta kol destekleniyorsa hesaplanan puandan 1 puan çıkarılır. Vücut bölümleri için puanlar belirlendikten sonra puanları tek bir puana dönüştürmek için öncelikle Tablo 9 ve Tablo 10'daki puanlama cetvelleri kullanılır

ve puanlar Şekil 6'daki diyagrama kaydedilir. İki grup için kaydedilen puana, Tablo 12'de yer alan yük/kuvvet kas kullanım puanları ayrı ayrı eklenerek A puanı ve B puanı elde edilir. A ve B puanları Tablo 11'deki puanlama matrisinde birleştirilerek C puanı elde edilir. Elde edilen C puanı aynı zamanda RULA puanını da ifade etmektedir.

				BOYUN		
	Hareket	Skor	Değişim Puanı: Eğer yana doğru bükülme varsa: +1 Eğer yana doğru dönme hareketi de varsa +1 daha ekle			
	0°-10° fleksiyon	1				
	10°-20° fleksiyon	2				
	> 20° fleksiyon	3				
	Ekstansiyon	4				
				GÖVDE		
	Hareket	Skor	Değişim Puanı: Eğer yana doğru bükülme varsa: +1 Eğer yana doğru dönme hareketi de varsa +1 daha ekle			
	Dik Duruş	1				
	0°-20° fleksiyon	2				
	20°-60° fleksiyon	3				
	> 60° fleksiyon	4				
				BACAĞ		
	Hareket	Skor	Değişim Puanı: Herhangi bir puan değişikliği uygulanmamaktadır.			
	Ağırlık iki bacak üstünde, ya da oturma durumunda	1				
	Ağırlık tek bacak üstünde, dengesiz durumda	2				

Şekil 2. Rula Yöntemi Grup B Puanlaması (Middlesworth, 2019)

Tablo 9. Rula Yöntemi Grup A Vücut Bölümleri Puanlaması (Middlesworth, 2019)

Tablo A		Bilek							
		1		2		3		4	
Üst Kol	Alt Kol	Bilek Bükülmesi							
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo10. Rula Yöntemi Grup B Vücut Bölümleri Puanlaması (Middlesworth, 2019)

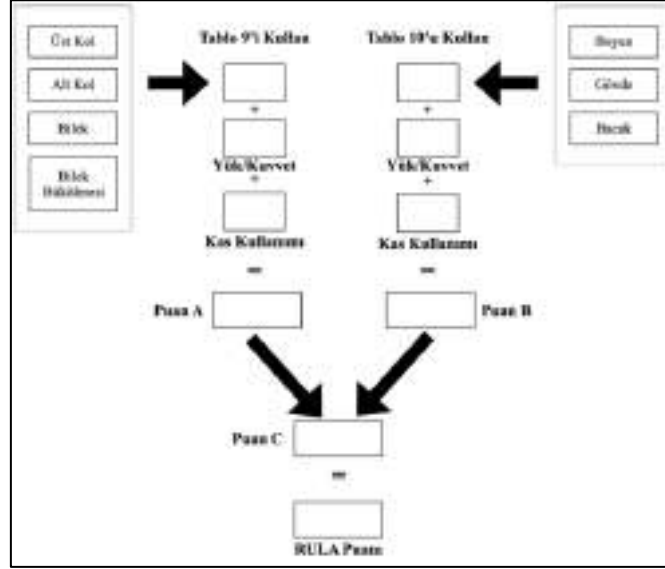
Tablo B	Gövde											
	1		2		3		4		5		6	
Boyun	Bacak											
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Tablo 11. Rula Yöntemi Genel Puanlama (Middlesworth, 2019)

Tablo C		Boyun, Gövde, Bacak						
		1	2	3	4	5	6	7 +
Bilek / Kol	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8 +	5	5	6	7	7	7	7

Tablo 12. Rula Yöntemi İlave Puanlama (Middlesworth, 2019)

Yük/Kuvvet Puanlaması		Kas Kullanım Puanlaması	
Skor	Tanım	Skor	Tanım
0	Yük <2 kg (ara ara)	1	1 dakikadan fazla bir süre statik olma veya dakikada 4'den fazla tekrar etme
1	2 kg ≤Yük <10 kg (ara ara)		
2	2 kg ≤Yük <10 kg (Statik ve tekrarlı)		
3	Yük ≥10 kg veya kuvvette hızlı artış		



Şekil 3. Rula Yöntemi Puanlama Diyagramı (Middlesworth, 2019)

Tablo 13. Rula Yöntemi Eylem Seviyeleri (Rahma ve Faiz, 2019)

RULA Puanı	Risk Seviyesi	Eylem Seviyesi	Önlem
1-2	İhmal Edilebilir	0	Gerekli Değil
3-4	Orta	1	Gerekli Olabilir
5-6	Yüksek	2	Kısa Süre İçerisinde Gerekli
7	Çok Yüksek	3	Acilen Gerekli

3. Adım: Eylem Seviyesinin Belirlenmesi

RULA puanı hesaplandıktan sonra Tablo 13'de yer alan Eylem Seviyeleri kullanılarak puanın risk seviyesi ve risk puanına göre uygulanması gereken eylem belirlenir.

3.2.3. Qec

QEC (Hızlı Maruziyet Değerlendirme) metodu ilk 1998 yılında Lee ve Buckle tarafından geliştirilmiştir. Yöntem belirli bir süre kullanıldıktan sonra, 2005 yılında David, Woods ve Buckle, 206 uygulayıcıdan aldıkları geri bildirimlere göre içeriği tekrar gözden geçirerek yönteme son şeklini vermiştir (G. David, Woods, Li ve Buckle, 2008). QEC' in Türkçe versiyonu ise 2008 yılında oluşturulmuştur. Türkçe versiyonu, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'nde çalışan 20 temizlik görevlisi üzerinde uygulanarak güvenilirliği tekrardan incelemeye alınmıştır. İnceleme neticesinde yöntemin güvenilir olduğu açıklanmıştır (Özcan, Kesiktas, Alptekin ve Özcan, 2008).

QEC yöntemi, öğrenim basitliği, kullanım kolaylığı, değişiklikleri önceliklendirmesi gibi çeşitli avantajları bünyesinde barındırmaktadır. Yöntem, çalışanın en çok hangi

işlerde zorlandığının anlaşılmasına, zorlanmaların temel nedenlerinin tespit edilmesine katkı sunmaktadır. Yöntemde hem genel vücut risk puanı hem de vücut bölümleri için alt puanlar belirlenmektedir. Bu alt puanlara göre vücut bölümlerinin risk seviyeleri tespit edilebilmektedir (İnalçuk, 2019). Bunlara ek olarak yöntemde hem çalışandan hem de gözlemciden girdi alınarak çift taraflı bir değerlendirme yapılmaktadır (Alici, Ulusu Atıcı ve Gündüz, 2017).

QEC yöntemi yayımlandığı günden bu yana farklı sektörlerde çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. Ericsson, Björklund ve Wahlström, (2012) bir hastanedeki farklı meslek gruplarıyla yaptıkları pilot çalışmada, QEC yönteminin uygulanabilirliğini test etmeye çalışmışlardır. 23 çalışanın gözlemlendiği çalışmada, QEC yöntemini test etmek amacıyla, en yaygın yapılan işle, en yorucu kabul edilen iş arasındaki maruziyet seviyeleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda QEC yönteminin, boyunda, üst ekstremitelerde ve beldeki fiziksel risk faktörlerini kapsayan hızlı, mantıklı ve pratik bir risk değerlendirme aracı olma beklentilerini karşıladığı ortaya konmuştur.

Rahmani, Shahnavaizi, Fazli ve Ghasemi, (2020) çimento fabrikasındaki çalışanların kas ve iskelet sistemi rahatsızlık düzeylerini belirlemek için QEC yöntemini kullanarak çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaya 150 kişinin katılımı sağlanmıştır. Araştırma sonucunda organlarda oluşan kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarını tespit etmede QEC yönteminin iyi bir belirleyici olduğunu ifade etmişlerdir.

Bulduk, Bulduk, Süren ve Ovalı, (2014) Ankara’da günde yaklaşık 10-12 saat çalışan taksi şoförlerine, yaşadıkları KİSR’nin nedenlerini belirlemek için QEC yöntemi uygulamışlardır. Çalışmaya 382 taksi sürücüsü katılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, taksi şoförlerinde risklerin yüksek olduğu görülmüştür. Dengesiz duruşlar, tekrarlanan hareketler, titreşim, yola sürekli dikkat ve işle ilgili stres KİSR’e neden olan ana risk faktörleri olarak belirlenmiştir.

İnalçuk, (2019) Metal Endüstrisinde faaliyet gösteren işletmedeki çalışanlar üzerindeki ergonomik risklerin potansiyel etkilerini araştırmak amacıyla tez çalışması yapmıştır. 47 mavi yakalı çalışan üzerinden gerçekleştirilen araştırmada, ergonomik riskler QEC yöntemi ile araştırılmıştır. Belirlenen ergonomik riskleri ortadan kaldırmak için iyileştirme önerileri sunulmuştur.

Çeşitli sektörlerde başarılı bir şekilde kullanılan QEC yönteminin, Sukadarın vd., (2013) tarafından yapılan çalışmada, duruş pozisyonlarına ilişkin riskleri değerlendirmede yetersiz olduğu belirlenmiştir. Çalışmada palmye yağı işçilerinin maruz kaldıkları ergonomik risk faktörleri, QEC yöntemi kullanarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Palmye yağı işçilerinin, taze meyve salkımı toplarken birçok uygunsuz duruş problemlerine maruz kaldıkları gözlemlenmiştir. Araştırma sonucunda QEC yönteminde bacak değerlendirmesinin eksik olması, itme ve çekme değerlendirmesinin yapılmaması gibi kısıtların olduğu belirlenmiştir. Bu nedenlerden ötürü QEC yönteminin özellikle uzun ağaçlardaki meyveleri hasat sırasında ortaya çıkan duruşların analizinde yetersiz olduğu ifade edilmiştir.

QEC ölçeği ile işçilerin maruz kaldıkları risk düzeyi belirlenebilmektedir. Yöntem, ergonomik iyileştirme gereken işlerin sıralanmasına yardımcı olur ve uygulamaya konan

ergonomik planın değerlendirmesine olanak sağlar. Hem çalışana hem de gözlemciye rehberlik eden yöntemde, gözlemciye ait 18, çalışana ait 25 madde bulunmaktadır. Maddelere verilen yanıtlardan bir puan tablosu oluşturulur. Maruziyetin düzeyleri puanlara göre belirlenir. Yöntem farklı iş kollarındaki çalışanların maruz kaldıkları riskleri değerlendirmek için kullanılabilir (Özcan, 2011). QEC yönteminin uygulanması 5 adımda gerçekleşmektedir (G. Li ve Buckle, 2004):

- Eğitim,
- Gözlemcinin Kontrol Listesini Doldurması,
- Çalışanın Kontrol Listesini Doldurması,
- Maruziyet Puanlarının Hesaplanması,
- Eylemlerin Değerlendirilmesi

1. Adım: Eğitim

QEC yöntemi ilk kez kullanacakların kontrol listesinde kullanılan terminolojiyi ve değerlendirme kategorilerini anlaması için eğitilmesi gerekmektedir. Deneyimli kullanıcılar 1. adımı atlayabilir.

2. Adım: Gözlemcinin Kontrol Listesini Doldurması

QEC kullanıcısı (gözlemci) belirli bir görev için risk değerlendirmesini kontrol listesindeki “Gözlemcinin Değerlendirmesi” tarafını kullanarak gerçekleştirmektedir. Şekil 7’deki kontrol listesinde değerlendirme öğeleri açıkça belirtilmiştir. Değerlendirme yapılmadan önce en az bir tam çalışma döngüsü gözlemlenir. Bir iş çoklu görevlerden oluşuyorsa, her görev için ayrı ayrı değerlendirme yapılabilir. Bir iş kolaylıkla alt görevlere ayrılıyorsa, söz konusu işin yapılması sırasında vücudun herhangi bir bölümüne en fazla yüklenmesine yani o işin içerisindeki “en kötü” durum gözlemlenmelidir. Değerlendirme doğrudan gözlem veya video görüntüleri kullanılarak yapılabilmektedir.

3. Adım: Çalışanın Kontrol Listesini Doldurması

2. adımda gözlemlenen çalışan Şekil 7’deki kontrol listesinin ‘Çalışanın Değerlendirmesi’ tarafını doldurur.

GÖZLEMCİNİN DEĞERLENDİRMESİ		ÇALIŞANIN DEĞERLENDİRMESİ	
Sırt		Çalışanlar	
A	Görev yapılırken bel (en kötü hali seçiniz):	H	Görev yapılırken elle kaldırdığımız en fazla ağırlık?
A1	Hemen hemen doğal mı?	H1	Hafif (5 kg veya daha az)
A2	Orta derecede öne ya da yana eğilmiş veya dönmüş mü?	H2	Orta (6-10 kg)
A3	Aşırı derecede öne ya da yana eğilmiş veya dönmüş mü?	H3	Ağır (11-20)
Aşağıdaki iki görev seçeneğinden YALNIZCA BİRİNİ seçiniz:		H4	Çok ağır (20 kg’ den fazla)
B	1)Ya sabit oturularak ya da ayakta yapılan görevler. Sırt çoğunlukla sabit mi?	J	Görevi yaparken günde ortalama ne kadar zaman harcıyorsunuz?
B1	Hayır	J1	2 saatten daha az
B2	Evet	J2	2-4 saat
2)Ya da kaldırma, itme/çekme, ve taşıma görevleri esnasında sırtın hareketi:		J3	4 saatten daha fazla
B3	Nadiren (dakikada yaklaşık üç kez veya daha az)	K	Görev yapılırken, bir elle uygulanan en fazla güç?
B4	Sık (dakikada yaklaşık sekiz kez)	K1	Düşük (1 kg’ dan az)
B5	Çok sık (dakikada yaklaşık on iki kez veya daha fazla)	K2	Orta (1-4 kg)
Omuz/Kol		K3	Yüksek (4 kg’ den fazla)
C	Görev yapılırken eller (en kötü hali seçiniz):	L	Görevin gerektirdiği görsel dikkat:
C1	Bel seviyesinde ya da daha aşağı mı?	L1	Düşük (ince ayrıntı gerektirmiyor)
C2	Yaklaşık göğüs seviyesinde mi?	*L2	Yüksek (bazı ince ayrıntılar görülmeli)
C3	Omuz seviyesinde veya daha yukarıda mı?	*Eğer yüksekse aşağıda detayları belirtiniz.	
D	Omuz/kol hareketleri:	M	Görevde günlük taşıt kullanma süreniz:
D1	Nadiren (aralıklı)	M1	Bir saatten daha az ya da hiç mi?
D2	Sık (bazı duraklamalarla düzenli hareket)	M2	Günde 1-4 saat mi?
D3	Çok sık (hemen hemen sürekli hareket)	M3	Günde 4 saatten fazla mı?
Bilek/El		N	Görevinizde titreşimli alet kullanma süreniz:
		N1	Bir saatten daha az ya da hiç mi?

E	Görev yapılırken (en kötü hali seçiniz):	N2	Günde 1-4 saat mi?
E1	Yaklaşık düzgün bilek pozisyonu mu?	N3	Günde 4 saatten fazla mı?
E2	Eğilmiş ya da dönmüş bilek pozisyonu mu?	P	Bu görevi yaparken zorluk çekiyor musunuz?
F	Benzer tekrarlı hareketler:	P1	Hiçbir zaman
F1	Dakikada 10 ya da daha az mı?	P2	Bazen
F2	Dakikada 11- 20 mi?	*P3	Sık sık
F3	Dakikada 20 fazla mı?	<i>*Eğer sık sıklıkta aşağıda detayları belirtiniz.</i>	
Boyun		Q	Genel olarak bu işi nasıl buluyorsunuz?
G	Görev yapılırken baş/boyun eğilmiş ya da dönmüş mü?	Q1	Hiç stresli değil mi?
G1	Hayır	Q2	Biraz stresli mi?
G2	Evet, bazen	Q3	Orta stresli mi?
G3	Evet, sürekli	*Q4	Çok stresli mi?
* L:		<i>*Eğer orta veya çoksa aşağıda detayları belirtiniz.</i>	
* P:			
* Q:			

Şekil 4. Qec Yöntemi Kontrol Listesi (Koç ve Testik, 2016)

4. Adım: Maruziyet Puanlarının Hesaplanması

Maruziyet puanının hesaplanmasında Tablo 14'deki çizelge kullanılır ve değerlendirilen her bir görev için aşağıdaki adımlar gerçekleştirilir:

- “Gözlemci Değerlendirmesi” ve “Çalışan Değerlendirmesi” yanıtlarına karşılık gelen tüm harfler daire içine alınır.

- Daire içine alınmış her harf çiftinin kesişim noktasındaki sayılar işaretlenir ve bu sayılar harf çiftleri için ayrılan puan kutucuğuna yazılır.
- Puan kutucuklarına yazılan puanlar toplanarak sırt, omuz/kol, bilek/el ve boyun için toplam maruziyet puanları hesaplanır.

Tablo 14. Qec Yöntemi Maruziyet Puanı Çizelgesi (Koç ve Testik, 2016)

Sırt					Omuz/Kol					Bilek/El					Boyun				
Sırt duruşu (A) ve Ağırlık (H)					Yükseklik (C) ve Ağırlık (H)					Tekrarlı hareket (F) ve Kuvvet (K)					Boyun duruşu (G) ve Süre (J)				
H1	A1	A2	A3	Puan 1		C1	C2	C3	Puan 1		F1	F2	F3	Puan 1		G1	G2	G3	Puan 1
	2	4	6		H1	2	4	6		K1	2	4	6		J1	2	4	6	
H2	4	6	8		H2	4	6	8		K2	4	6	8		J2	4	6	8	
H3	6	8	10		H3	6	8	10		K3	6	8	10		J3	6	8	10	
H4	8	10	12		H4	8	10	12											
Sırt duruşu (A) ve Süre (J)					Yükseklik (C) ve Süre (J)					Tekrarlı hareket (F) ve Süre (J)					Görsel dikkat (L) ve Süre (J)				
	A1	A2	A3	Puan 2		C1	C2	C3	Puan 2		F1	F2	F3	Puan 2			G1	G2	Puan 2
J1	2	4	6		J1	2	4	6		J1	2	4	6		J1	2	4	6	
J2	4	6	8		J2	4	6	8		J2	4	6	8		J2	4	6	8	
J3	6	8	10		J3	6	8	10		J3	6	8	10		J3	6	8	10	
Süre (J) ve Ağırlık (H)					Süre (J) ve Ağırlık (H)					Süre (J) ve Kuvvet (K)					Boyun için toplam puan Puan 1 ve puan 2 toplamı:				
H1	J1	J2	J3	Puan 3		J1	J2	J3	Puan 3		J1	J2	J3	Puan 3					
	2	4	6		H1	2	4	6		K1	2	4	6						
H2	4	6	8		H2	4	6	8		K2	4	6	8						
H3	6	8	10		H3	6	8	10		K3	6	8	10						
H4	8	10	12		H4	8	10	12											
Elle taşıma yoksa sadece 4'ü elle taşıma varsa 5 ve 6'yı işaretleyiniz.					Sıklık (D) ve Ağırlık (H)					Bilek duruşu (E) ve Kuvvet (K)					Taşıt Kullanımı				
Statik duruş (B) ve Süre (J)															M1 M2 M3				
	B1	B2		Puan 4	H1	D1	D2	D3	Puan 4		E1	E2	Puan 4						
	J1	2	4		H2	4	6	8		K1	2	4							
	J2	4	6		H3	6	8	10		K2	4	6							
	J3	6	8		H4	8	10	12		K3	6	8							
Sıklık (B) ve Ağırlık (H)					Sıklık (D) ve Süre (J)					Bilek duruşu (E) ve Süre (J)					Titreşim için toplam puan:				
H1	B3	B4	B5	Puan 5					Puan 5		E1	E2	Puan 5						
	2	4	6		D1	D2	D3	J1		2	4								
H2	4	6	8		J2	4	6	8		J2	4	6							
H3	6	8	10		J3	6	8	10		J3	6	8							
H4	8	10	12																
Sıklık (A) ve Süre (J)					Omuz/Kol için toplam puan 1'den 5'e tüm puanların toplamı:					Bilek/El için toplam puan 1'den 5'e tüm puanların toplamı:					İş Temposu				
	B3	B4	B5	Puan 6											P1 P2 P3				
J1	2	4	6												1 4 9				
J2	4	6	8																
J3	6	8	10																
Sırt için toplam puan 1'den 4'e kadar puanların toplamı veya 1'den 3'e + 5 ve 6 puanların toplamı:															Stres				
															Q1 Q2 Q3 Q4				
															1 4 9 16				
															Stres için toplam puan:				

Tablo 15. Qec yöntemi eylem seviyeleri (Rahma ve Faiz, 2019)

QEC Puanı	Risk Seviyesi	Eylem Seviyesi	Önem
≤ 40%	Düşük	0	Kabul Edilebilir
41-50%	Orta	1	Daha Fazla İncelenmeli
51-70%	Yüksek	2	Daha Fazla İncelenmeli ve Değişiklik Yapılmalı
>70%	Çok Yüksek	3	İncelenmeli ve Acilen Değişiklik Yapılmalı

5. Adım: Eylemlerin Değerlendirilmesi

Her bir vücut bölümü için maruziyet puanları hesaplandıktan sonra genel maruziyet seviyesi (E) puanı hesaplanmaktadır. Elle taşıma olan ve olmayan görevler için iki farklı E puanı hesaplanmaktadır. E puanının yüzdelik değeri, değerlendirme sonucunda hesaplanan puanın (X), muhtemel en büyük toplam puana (Xmax) bölünmesi ile elde edilmektedir. Hesaplanan E puanı için Tablo 15’de belirtilen önlemler dikkate alınarak uygulamalar yapılmaktadır. Elle taşıma görevleri için $X_{maxMH} = 176$, elle taşıma olmayan görevler için $X_{max} = 162$ ’dir.

$$E (\%) = X/X_{max} \times 100\% \text{ (Koç ve Testik, 2016)}$$

4. Cıvata Fabrikasında Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Uygulama

Bu çalışmanın uygulama kısmında Malatya 2. Organize sanayinde cıvata imalatı yapan bir fabrikada ergonomik risk değerlendirme yöntemleri aracılığıyla bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

4.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

İmalat işletmelerinde çalışanın verimliliğine olumsuz etkileri olan birçok problemle karşılaşabilmektedir. Bu problemlerin belirlenmesi ve çözülmesi, hem iş gören hem de işveren memnuniyeti açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede, Malatya 2. Organize sanayinde cıvata imalatı yapan bir fabrikada çalışanlarda kas ve iskelet zorlanmasına sebep olan süreçleri, ergonomik risk değerlendirme yöntemleri aracılığıyla incelemek, ergonomik açıdan riskli uygulamaları belirlemek ve bu uygulamaların iyileştirilmesine yönelik çalışan verimliliğini artıracak öneriler sunmak çalışmanın ana amaçları arasındadır.

Bu çalışma, fabrikadaki verimliliğe olumsuz yönde etki eden ergonomik risklerin belirlenmesi ve iyileştirmesine yönelik önerilerin geliştirilebilmesi açısından önemli olacaktır. Bu çalışmayla fabrika, eksiklerini görme ve iyileştirme fırsatı

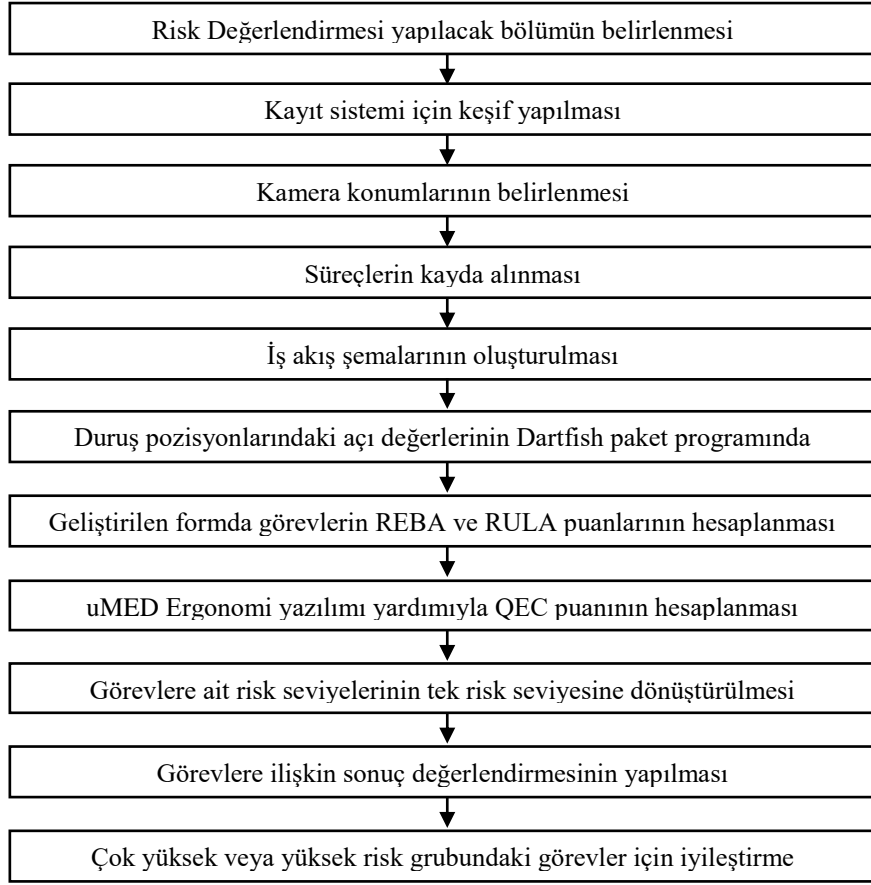
bulacaktır. Ayrıca çalışma benzer fabrikalar için problemlere sistematik yaklaşım açısından örnek olma özelliği taşıyacaktır.

Ergonomik risklerin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde ergonomik risk unsurları bir veya iki yöntemle incelenmiştir. Ayrıca önceki çalışmalarda gözleme dayalı fotoğraflama yöntemleriyle veriler toplanmaya çalışılmıştır. Bu tür incelemeler anlık gözlemle olduğu için çalışanlarda baskı oluşturmada ve gözlemciyi yanıltabilmektedir. Bununla birlikte gözlemci üzerinde iş yerindeki çevresel koşullar ve kısa çevrim süreleri nedeniyle baskı artacak, ölçümde, kayıta ve hesaplamada hatalar ortaya çıkabilecektir. Bu çalışmada ise risk unsurlarının birden fazla yöntemle değerlendirilmesi ve kamerayla incelemelerin yapılması çalışmanın özgün değerini oluşturmaktadır. Malatya sanayinde benzer bir çalışmaya rastlanmamış olması çalışmanın diğer işletmeler için de farkındalık oluşturması açısından son derece önemlidir. Bununla beraber, uygulamanın gerçekleştirildiği işletmede problemlerin belirlenmesi ve analizlerin yapılması sistematik olarak ele alındığından farklı sektörlerde de uygulanabilecek bir model ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede modelin hem literatüre hem de bölgesel ekonominin gelişmesine katkı sağlayacağını ifade etmek mümkündür.

4.2. Araştırmanın Yöntemi ve Kısıtları

Araştırmada belirlenen amaçlara ulaşabilmek için nitel ve nicel yöntemler kullanılmıştır. Uygulanabilirlik ve operasyonların fazlalığı açısından bütün bölümlerde bir risk değerlendirmesinin yapılması mümkün olmamıştır. Bu nedenle emeğin en yoğun olduğu tel çekme bölümünün seçilmesi araştırmada bir kısıt oluşturmuştur.

Nitel yöntem kapsamında mevcut durumun analiz edilmesine ve problemlerin belirlenmesine yönelik keşfedici bir araştırma yürütülmüştür. Keşfedici araştırma sürecinde, tel çekme bölümünde yer alan bütün süreçlerde gözlemler gerçekleştirilmiş, başta üst düzey yetkililer olmak üzere ilgili çalışanlarla görüşmeler yapılmıştır. Yine sistemin öğrenilmesi ve mevcut durumun daha iyi analiz edilebilmesi için dokümantasyon incelemeleri yapılmıştır.



Şekil 8. Uygulama Modeli

Nicel yöntem kapsamında ise REBA RULA ve QEC yöntemleri ile duruş pozisyonlarının risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu çerçevede video kamerası ile kayıt altına alınan süreçler, ofis ortamında izlenip değerlendirilmiştir. Kayıtlarda iş yapımı esnasında ortaya çıkan duruşlar, ekran fotoğrafı alınarak incelenmiştir. Ekran fotoğraflarında yer alan duruşlara ilişkin kol, bacak, boyun ve bel açı değerleri, Dartfish paket programı yardımıyla hesaplanmıştır. REBA ve RULA yöntemlerinde duruşlara ilişkin tekrar sayıları göz ardı edilmekte ve çalışan görüşleri yer almamaktadır. Bu nedenle duruş sıklığını ve çalışanın görüşünü dikkate alan QEC yöntemi üçüncü bir yöntem olarak kullanılmıştır. RULA ve REBA puanları hazırlanan şablon yardımıyla hesaplanırken, QEC puanları uMED Ergonomi yazılımının kullanımıyla hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan uygulama modeli Şekil 8'deki gibidir.

4.3. Mevcut Durum Analizi

İşletme, Malatya 2. Organize Sanayi Bölgesi'nde bağlantı elemanları sektöründe faaliyet göstermektedir. 39.379 m² arazi üzerine kurulu olan işletmenin 18.571 m² kapalı alanı bulunmaktadır. İşletme, 2020 yılı itibari ile 224 çalışanla, aylık ortalama 762 ton üretim gerçekleştirmektedir.

Araştırma kapsamında ele alınan tel çekme bölümünde ise 9 çalışanla günlük ortalama 40-45 ton tel çekimi gerçekleştirilmektedir. 4,5-28 mm çap aralığında ve farklı özelliklerde kangal haldeki teller, tel çekme bölümünde istenen özelliklere göre çekilerek cıvata, vida ve somun üretimi için hazır hale getirilmektedir.

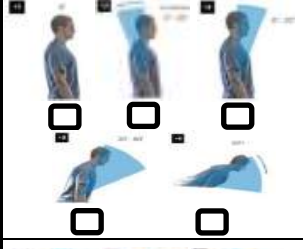
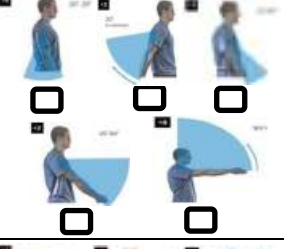




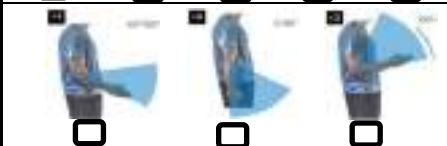



Kapasite kullanım oranı üretim planlama açısından büyük öneme sahiptir. Kapasite kullanım oranı fiili kapasitenin normal

kapasite içerisindeki yüzdeleri oranı ile belirlenebilmektedir. Fiili kapasite miktarı fabrika genelinde günlük ortalama 30 ton, tel çekme bölümünde günlük ortalama 40-45 ton olarak gerçekleşmektedir. Normal kapasite miktarlarına bakıldığında ise fabrika genelinde 51 ton, tel çekme bölümünde yaklaşık 200-225 ton olarak hesaplanmaktadır. Bu rakamlardan kapasite kullanım oranları hesaplandığında fabrika genelinde %60 iken, tel çekme bölümünde %20 olduğu görülmektedir. Tel çekme bölümünde fabrika geneline göre düşük kapasite ile çalışılması insan gücü kapasitesinden ve talep miktarından kaynaklanmaktadır.

Fabrika ortamında yaşanan iş kazaları, çalışanların motivasyon ve performanslarının düşmesine, işverenlerin ise tazminat ve sağlık giderleri gibi çeşitli maliyetlerle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır. Özellikle emeğin yoğun olduğu işletmelerde iş kazaları daha fazla yaşanmaktadır. Her işletmede olduğu gibi bu fabrikada da zaman zaman iş kazaları yaşanmaktadır. Fabrika genelinde 2019 yılı itibariyle 29 kez iş kazası yaşanmış ve bu iş kazalarında toplamda 135 gün iş göremezlik raporu alınmıştır. Tel çekme bölümündeki rakamlara bakıldığında ise yıllık yaklaşık 4-5 defa iş kazası yaşanmış ve bu iş kazaları sebebiyle ortalama 19 gün iş göremezlik raporu alınmıştır.

4.4. Risklerin Değerlendirilmesi

Mevcut durum analizi sürecinde tanımlamaları yapılan görevlere ilişkin risklerin değerlendirilmesi, araştırma kapsamında belirlenen REBA, RULA ve QEC yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Değerlendirilmelerin yapıldığı görevlere ait formlar Şekil 9'daki gibi oluşturulmuştur.

Makine adı		RESİM			
Görev Tanımı					
	Gövde ()	Tablo A () + Yük/Kuvvet ()	Tablo B () + Kavrama ()		
		Tablo C () +		Üst Kol ()	
	Boyun ()	Hareket () =		Alt Kol ()	
	Bacak ()	REBA puanı ()		Bilek ()	
Kol ve Bilek Analizi			Boyun, Gövde ve Bacak Analizi		
	Üst Kol ()		Boyun ()		
	İlave ()		İlave ()		
	Alt Kol ()		Gövde ()		
	İlave ()		İlave ()		
	Bilek ()		Bacaklar ()		
	İlave ()				
Kas Kullanımı ()	Yük/Kuvvet ()	RULA puanı () QEC puanı ()		Kas Kullanımı ()	Yük/Kuvvet ()

Şekil 9. Geliştirilen Değerlendirme Formu

55 göreve ilişkin yapılan değerlendirme sonuçlarının özeti Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Görevlerin Risk Değerlendirme Yöntemlerindeki Puan Dağılımları

Makine Adı	Görev Tanımı	REBA puanı	RULA puanı	QEC puanı
700'lük	Tel bağının kesilmesi	4	6	%41
700'lük	Hadde yuvasının sökülmesi ve takılması	3	6	%38
700'lük	Tel ucunun inceltilmesi	5	6	%37
700'lük	Telin haddeden geçirilmesi	4	3	%28
700'lük	Çektirmenin takılması ve sökülmesi	4	4	%46
700'lük	Tel ölçüsünün alınması	3	5	%27
700'lük	Sabun kutusuna sabun eklenmesi	3	3	%23
700'lük	Kantarın vince asılması- vinçten alınması	3	6	%32
1000'lik	Tel bağının küçük makasla alttan kesilmesi	11	7	%56
1000'lik	Tel bağının küçük makasla üstten kesilmesi	11	7	%56
1000'lik	Tel bağının büyük makasla alttan kesilmesi	11	7	%58
1000'lik	Tel bağının büyük makasla üstten kesilmesi	11	7	%63
1000'lik	Hadde çapına uygun telin doğrultulması	13	7	%69
1000'lik	Uç kısma eklenen telin spiralle kesilmesi	10	7	%48
1000'lik	Fılmaşın ucunun doğrultulması	10	7	%68
1000'lik	Telin ucuna kaynak yapılması	14	7	%66
1000'lik	Haddenin yuvaya takılması	9	7	%32
1000'lik	Tel bağına ait hurda tellerin toplanması	9	7	%38
1000'lik	Çektirmenin çıkarılması	8	7	%44
1000'lik	Telin ucuna çektirmenin takılması	8	7	%66
1000'lik	Çektirmenin yuvaya yerleştirilmesi	4	5	%38
1000'lik	Küçük spiralle telin alttan taşlanması	8	7	%43
1000'lik	Kaynak yerinin taşlanması	11	7	%52
1000'lik	Kaynak makinesindeki tel sabitleyici vidaların sıkılması gevşetilmesi	5	5	%34
6 Kafa	Tel bağının kesilmesi	8	6	%48
6 Kafa	İki telin birbirine kaynak yapılması	3	3	%25
6 Kafa	Kaynak yerinin taşlanması	4	4	%39
6 Kafa	Sabun kutusundaki tel talaşının temizlenmesi	5	3	%27
6 Kafa	Telin haddeden çıkarılması	5	5	%56
6 Kafa	Haddeyi tutan somunun sıkılması	6	5	%39
6 Kafa	Telin haddeden geçirilmesi	4	6	%25
6 Kafa	Tel takma kancasına telin sıkıştırılması	5	6	%28
6 Kafa	Kafa çevresine biriken talaşın temizlenmesi	4	6	%32
6 Kafa	Tel ölçüsünün alınması	6	6	%28
6 Kafa	Son kafadaki telin açılması	2	3	%38
6 Kafa	Kafalara sardırılan telin makineden çıkarılması	4	3	%41
6 Kafa	Telin sarma makinesinden geçirilmesi	5	4	%36
6 Kafa	Telin sarma makinesi makarasına sabitlenmesi	2	2	%33
6 Kafa	Boş sepetin kafa altına yerleştirilmesi	2	3	%48
6 Kafa	Dolan sepetin paletle kaldırılması	7	6	%58
6 Kafa	Sepetin transpaletle taşınması (500 kg)	5	6	%49
6 Kafa	Bağ telinin dolu sepetin altından geçirilmesi	7	6	%32
6 Kafa	Bağ telinin çekilerek telin sıkıştırılması	9	6	%52
6 Kafa	Telin bağlanması	3	5	%32
S. Çekim	Boş sepetin yerine taşınması	5	6	%42
S. Çekim	Tel sabitleme vidasının sıkılması gevşetilmesi	3	3	%33
S. Çekim	Tel uçlarının taşlanması	1	3	%27
S. Çekim	Tellerin birbirine kaynatılması	2	3	%28
S. Çekim	Kaynak yerinin taşlanması	1	3	%42
S. Çekim	Arka haddenin değiştirilmesi	3	5	%26
S. Çekim	Sabun kutusundan sabun alınması sabun kutusuna sabun eklenmesi	5	5	%28
S. Çekim	Ön haddenin değiştirilmesi	5	5	%28
S. Çekim	Telin makaraya sardırılması	4	5	%25
S. Çekim	Dolmuş sepetin kafa altından çekilmesi	9	6	%57
S. Çekim	Boş sepetin kafa altına itilmesi	5	6	%48

4.4.1. Yöntemlerin Karşılaştırılması ve Sonuç Değerlendirmesi

Araştırmada görevler üç farklı yöntemle değerlendirmeye tabi tutulduğundan sonuç değerlendirmesinin yapılabilmesi için sistematik bir yöntem geliştirilmiştir. Öncelikli olarak risk

değerlendirme yöntemlerinden elde edilen puanlar risk seviyesi şeklinde ifade edilmiştir. Puanlara karşılık gelen seviyeleri Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Puanlarına Göre Risk Seviyeleri

Risk Seviyesi	REBA Puanı	RULA Puanı	QEC Puanı
Düşük Risk	1-3	1-2	0-40%
Orta Risk	4-7	3-4	41-50%
Yüksek Risk	8-10	5-6	51-70%
Çok Yüksek Risk	11-15	7	71-100%

Sonrasında hesaplanan üç risk seviyesi bir risk seviyesine dönüştürülmüştür. Dönüştürmede iki farklı değerlendirme yaklaşımı kullanılmıştır. Birinci yaklaşımda salt çoğunluğa göre karar verme yöntemi benimsenmiştir. Örneğin, bir görev için risk seviyesinin REBA' da "Çok Yüksek", RULA' da "Çok Yüksek" ve QEC' de "Yüksek" olması durumunda göreve ilişkin

risk seviyesi "Çok Yüksek" olarak kabul edilmiştir. İkinci yaklaşımda ise üç farklı yöntem, farklı risk seviyesini gösteriyorsa ortadaki risk seviyesi dikkate alınmıştır. Örneğin, göreve ilişkin risk seviyesi REBA' da "Çok Yüksek", RULA' da "Yüksek" ve QEC' de "Orta" çıkması durumunda, risk seviyesi "Yüksek" olarak kabul edilmiştir. ÇYR, YR, OR, DR.

Tablo 18. Sonuç Değerlendirmesi

Makine Adı	Görev Tanımı	REBA	RULA	QEC	Sonuç Değerlendirmesi
1000'lik	Tel bağının küçük makasla alttan kesilmesi	ÇYR	ÇYR	YR	ÇYR
1000'lik	Tel bağının küçük makasla üstten kesilmesi	ÇYR	ÇYR	YR	ÇYR
1000'lik	Tel bağının büyük makasla alttan kesilmesi	ÇYR	ÇYR	YR	ÇYR
1000'lik	Tel bağının büyük makasla üstten kesilmesi	ÇYR	ÇYR	YR	ÇYR
1000'lik	Hadde çapına uygun telin doğrultulması	ÇYR	ÇYR	YR	ÇYR
1000'lik	Telin ucuna kaynak yapılması	ÇYR	ÇYR	YR	ÇYR
1000'lik	Kaynak yerinin taşlanması	ÇYR	ÇYR	YR	ÇYR
1000'lik	Uç kısma eklenen telin spiralle kesilmesi	YR	ÇYR	OR	YR
1000'lik	Filmaşın ucunun doğrultulması	YR	ÇYR	YR	YR
1000'lik	Haddenin yuvaya takılması	YR	ÇYR	DR	YR
1000'lik	Tel bağına ait hurda tellerin toplanması	YR	ÇYR	DR	YR
1000'lik	Çektirmenin çıkarılması	YR	ÇYR	OR	YR
1000'lik	Telin ucuna çektirmenin takılması	YR	ÇYR	YR	YR
1000'lik	Küçük spiralle telin alttan taşlanması	YR	ÇYR	OR	YR
6 Kafa	Tel bağının kesilmesi	YR	YR	OR	YR
6 Kafa	Telin haddeden çıkarılması	OR	YR	YR	YR
6 Kafa	Dolan sepetin paletle kaldırılması	OR	YR	YR	YR
6 Kafa	Bağ telinin çekilerek telin sıkıştırılması	YR	YR	YR	YR
S. Çekim	Dolmuş sepetin kafa altından çekilmesi	YR	YR	YR	YR
700'lük	Tel bağının kesilmesi	OR	YR	OR	OR
700'lük	Tel ucunun inceltilmesi	OR	YR	DR	OR
700'lük	Telin haddeden geçirilmesi	OR	OR	DR	OR
700'lük	Çektirmenin takılması ve sökülmesi	OR	OR	OR	OR
1000'lik	Çektirmenin yuvaya yerleştirilmesi	OR	YR	DR	OR
1000'lik	Kaynak makinesindeki tel sabitleyici vidaların sıkılması-gevşetilmesi	OR	YR	DR	OR
6 Kafa	Kaynak yerinin taşlanması	OR	OR	DR	OR
6 Kafa	Sabun kutusundaki tel talaşının temizlenmesi	OR	OR	DR	OR
6 Kafa	Haddeyi tutan somunun sıkılması	OR	YR	DR	OR
6 Kafa	Telin haddeden geçirilmesi	OR	YR	DR	OR
6 Kafa	Tel takma kancasına telin sıkıştırılması	OR	YR	DR	OR
6 Kafa	Kafa çevresine biriken talaşın temizlenmesi	OR	YR	DR	OR
6 Kafa	Tel ölçüsünün alınması	OR	YR	DR	OR
6 Kafa	Kafalara sardırılan telin makineden çıkarılması	OR	OR	OR	OR
6 Kafa	Telin sarma makinesinden geçirilmesi	OR	OR	DR	OR
6 Kafa	Boş sepetin kafa altına yerleştirilmesi	DR	OR	OR	OR
6 Kafa	Sepetin transpaletle taşınması (500 kg)	OR	YR	OR	OR
6 Kafa	Bağ telinin dolu sepetin altından geçirilmesi	OR	YR	DR	OR
Son Çekim	Boş sepetin yerine taşınması	OR	YR	OR	OR
Son Çekim	Kaynak yerinin taşlanması	DR	OR	OR	OR
Son Çekim	Sabun kutusundan sabun alınması – sabun kutusuna sabun eklenmesi	OR	YR	DR	OR
Son Çekim	Ön haddenin değiştirilmesi	OR	YR	DR	OR
Son Çekim	Telin makaraya sardırılması	OR	YR	DR	OR
Son Çekim	Boş sepetin kafa altına itilmesi	OR	YR	OR	OR

Makine Adı	Görev Tanımı	REBA	RULA	QEC	Sonuç Değerlendirmesi
700'lük	Hadde yuvasının sökülmesi ve takılması	DR	YR	DR	DR
700'lük	Tel ölçüsünün alınması	DR	YR	DR	DR
700'lük	Sabun kutusuna sabun eklenmesi	DR	OR	DR	DR
700'lük	Kantarin vince asılması- vinçten alınması	DR	YR	DR	DR
6 Kafa	İki telin birbirine kaynak yapılması	DR	OR	DR	DR
6 Kafa	Son kafadaki telin açılması	DR	OR	DR	DR
6 Kafa	Telin sarma makinesi makarasına sabitlenmesi	DR	DR	DR	DR
6 Kafa	Telin bağlanması	DR	YR	DR	DR
Son Çekim	Tel sabitleme vidasının sıkılması-gevşetilmesi	DR	OR	DR	DR
Son Çekim	Tel uçlarının taşlanması	DR	OR	DR	DR
Son Çekim	Tellerin birbirine kaynatılması	DR	OR	DR	DR
Son Çekim	Arka haddenin değiştirilmesi	DR	YR	DR	DR

Sonuç değerlendirmesinde ortaya çıkan risk seviyelerine göre makinelerdeki görev sayılarına ilişkin bilgiler Tablo 19'da gösterilmiştir. Tablo 19'a göre düşük riskte 12, orta riskte 24,

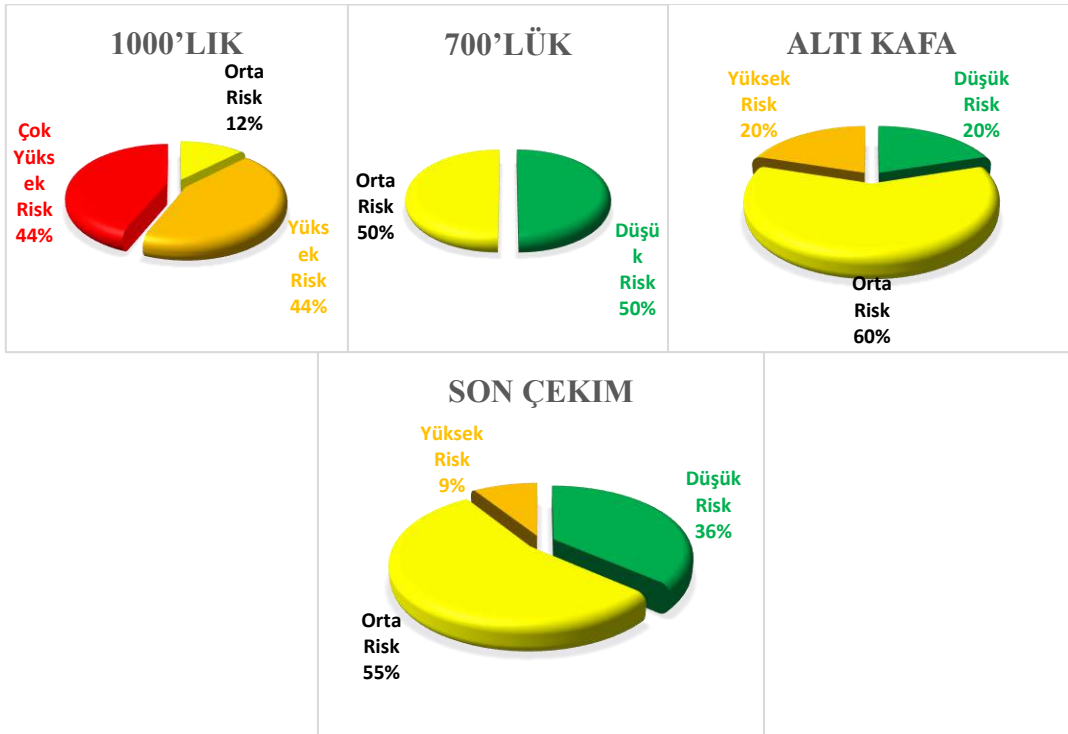
yüksek riskte 12, çok yüksek riskte 7 görev tespit edilmiştir. Çok yüksek risk sadece 1000'lik makinede görülmüştür.

Tablo 19. Risk Seviyelerine Göre Makinelerdeki Görev Sayıları

Risk Seviyesi	1000'lik	700'lük	Altı Kafa	Son Çekim	Toplam
Düşük Risk	-	4	4	4	12
Orta Risk	2	4	12	6	24
Yüksek Risk	7	-	4	1	12
Çok Yüksek Risk	7	-	-	-	7
Toplam	16	8	20	11	55

Makine bazında görevlerin yüzdelik olarak risk dağılımları Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10' daki grafikler incelendiğinde, 1000'lik makinedeki görevlerin %44'ünün çok yüksek, %44'ünün yüksek, geriye kalan %12'sinin ise orta risk seviyesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca bu makinede düşük risk seviyesine rastlanmamıştır. 700'lük makineye bakıldığında, görevlerin %50'sinin orta, %50'sinin düşük seviyede risk

içerdiği görülmektedir. Altı kafa makinesindeki risk değerlendirmesine ilişkin oranlara bakıldığında, görevlerin %60'ının orta risk, %20'sinin yüksek risk geriye kalan %20'sinin ise düşük risk grubunda olduğu görülmektedir. Son olarak son çekim makinesine bakıldığında, görevlerin %55'inin orta risk, %36'sının düşük risk ve %9'unun yüksek risk içerdiği görülmektedir.

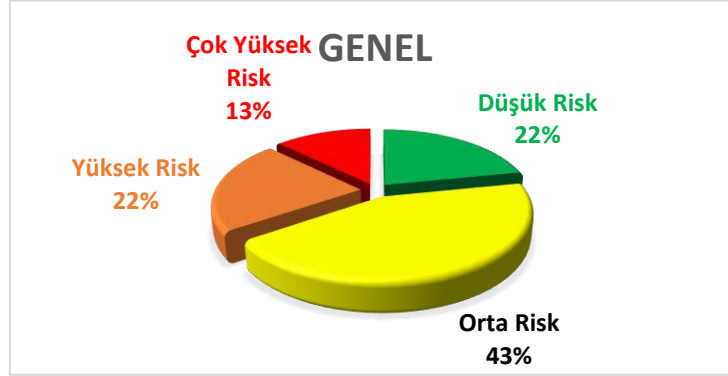


Şekil 10. Makine Bazında Risk Dağılımları

4.5. Genel Değerlendirme ve İyileştirme Önerileri

Yapılan çalışmada, RULA, REBA ve QEC yöntemi tel çekme bölümündeki çalışan personelin çalışma duruşlarını değerlendirmek için kullanılmıştır. 1000'lik, 700'lük, altı kafa ve son çekim makinelerindeki tel çekme süreçlerinde yer alan 55 görev üç farklı yöntemle tek tek değerlendirilmiştir. Görevlere ilişkin nihai risk seviyesi belirlenirken yöntemlere ait sonuçlarda benzerlik olması durumunda en az iki yöntemin belirttiği risk seviyesi, yöntemlere ait sonuçlarda farklılık olması durumunda ise üç yöntemin belirttiği ortalama risk seviyesi dikkate alınmıştır. Görevlerin genel risk dağılımları Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde görevlerin %43'ünün orta

risk, %22'sinin yüksek risk, %22'sinin düşük risk ve %13'ünün çok yüksek risk grubunda olduğu görülmektedir. Görevlerin toplamda %35'i çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer almaktadır. Bu sonuç söz konusu görevlerin kısa süre içerisinde veya acilen iyileştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu görevlerden özellikle 1000'lik makinedeki görevler çok yüksek risk grubundaki görevlerin tamamını ve yüksek risk grubundaki görevlerin yarısından fazlasını oluşturmaktadır. 1000'lik makineyi risk fazlalığı bakımından altı kafa makinesi, son çekim ve 700'lük makine takip etmektedir. Bu sebeple tel çekme bölümündeki personelin kas ve iskelet sistemi üzerindeki zorlanma büyükten küçüğe 1000'lik, altı kafa, son çekim ve 700'lük şeklinde yaşanmaktadır.



Şekil 11 Görevlerin Ortalama Risk Dağılımları

Analiz sonuçlarına göre mevcut durum ve iyileştirme önerileri aşağıdaki gibidir:

- Yapılan değerlendirmede, 1000'lik makinedeki tel bağının makasla kesilme işlemi çalışanların kas ve iskelet sistemi üzerinde zorlanmanın en fazla olduğu görevlerden birisidir. Çalışan, filmaşın alt tarafındaki tel bağını keserken eğilmekte, üst taraftaki tel bağını keserken makası omuz hizasında tutmaktadır. Kalın çaplı teli tutan mukavemeti

yüksek bağ telinin kesim işlemi her ne kadar el aleti ile yapılıyor olsa da çalışanı zorlamakta ve kullanılan kesme makasının tel kesiminde yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu sebeple tel bağının kesilmesi işleminin hidrolik el makası ile yapılması önerilmektedir. İyileştirme önerisine ait görsel Şekil 12'de verilmiştir. Bu uygulama ile çalışanın kesme esnasındaki çabasının ortadan kalkacağı, zorlanmanın en aza inebileceği ve işlemin daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 12. Tel Bağının Makasla Kesilme İşlemi İyileştirme Önerisi

- Ergonomik risk seviyesinin yüksek çıktığı diğer bir görev ise 1000'lik makinedeki hadde çapına uygun telin doğrultulması işlemidir. Bu işlemde çalışan bir boru yardımıyla 3-5 metrelik teli doğrultmaya çalışırken yüksek efor sarf etmektedir. Bununla birlikte tel doğrultma sırasında çalışanın kolu genellikle omuz hizasından

yüksekte durmaktadır. Bütün bunlar risk seviyesini artırmaktadır. İyileştirme önerisine ait görsel Şekil 13'de verilmiştir. Doğrultma işleminin doğrultma makinesi yardımıyla yapılması çalışanın üzerindeki riski en aza indireceği ve görevin daha kısa sürede gerçekleştirileceği düşünülmektedir.



Şekil 13. Hadde Çapına Uygun Telin Doğrultma İşlemi İyileştirme Önerisi

- Başka bir yüksek risk 1000'lik makinedeki telin ucuna kaynak yapılması işleminde görülmektedir. Değerlendirmede ergonomik riski artıran unsurlar, telin kaynak yapılmasında ihtiyaç duyulan anlık güç artışı, çalışanın 1 dakikadan uzun süre yüksek düzeyde kuvvet uygulaması, bacağın ve belin bükük olmasıdır. Riski artıran unsurların başında kaynak esnasındaki güç gereksinimine bağlı olarak çalışanın uygun olmayan pozisyonlara maruz kalması dikkati çekmektedir. Makine üzerine tam otomasyonu sağlayacak bir düzenek geliştirilmesi önerilmektedir. Bu sayede çalışanın fiziksel gücüne ihtiyacın ortadan kalkacağı, ergonomik riskin minimum seviyeye ineceği ve sürecin hızlanacağı düşünülmektedir.
- Yüksek risk seviyesi grubunda yer alan diğer bir görev, filmaşın ucunun doğrultulmasıdır. 1000'lik makinedeki süreçlerden olan bu işlem yüksek düzeyde güç gerektirdiği

için bir çalışan yeterli olmayıp iki çalışanın çabasıyla tamamlanabilmektedir. Bu işlem için dikkat çekici unsurlar, doğrultma işi için ihtiyaç duyulan anlık güç artışı, çalışanların yüksek düzeyde kuvvet uygulaması, belin ve bacağın bükük olmasıdır. Bütün doğrultma işlemlerinin doğrultma makinesi yardımıyla yapılması çalışan üzerindeki riski en aza indireceği ve işlemin daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

- Hurda tellerinin toplanması işleminde çalışanın yerdeki telleri toplamak için sürekli eğilip kalkması, kas ve iskelet sisteminde yük oluşturmaktadır. Bu işlemin manyetik mıknatıslı tel toplama aleti ile yapılması çalışanın kas ve iskelet sistemi üzerindeki yükünü azaltacağı düşünülmektedir. İyileştirme önerisine ait görsel Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Hurda Tellerinin Toplanması İşlemi İyileştirme Önerisi

- Risk seviyesinin yüksek olduğu diğer bir görev ise 6 kafa makinesindeki dolan sepetin transpaletle kaldırılması işlemidir. İşlem her ne kadar transpalet ile yapılıyor olsa da çalışan transpalet kolunu basarken eğilip kalkmakta ve üzerindeki yükü kaldırmak için oldukça zorlanmaktadır. İnsan gücüyle çalışan transpaletin yerine elektrikli bir transpaletin kullanılması çalışanın üzerindeki riski minimum seviyeye indireceği düşünülmektedir. Ayrıca

elektrikli transpaletteki baskül özelliği sayesinde dolmuş sepet ağırlığı kolayca ölçülebileceği için çalışanın vincin ucuna takılan 12,5 kg ağırlığındaki kantar başlığını taşıma ve kaldırma işlemini ortadan kaldıracaktır. Bu sayede sürecin kısılacağı ve çalışan üzerindeki zorlanmanın en aza ineceği düşünülmektedir. İyileştirme önerisine ait görsel Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Dolan Sepetin Transpaletle Kaldırılması İşlemi İyileştirme Önerisi

- Yüksek risk grubunda yer alan başka bir görev, dolmuş sepetin kafa altından çekilmesidir. Son çekim makinesindeki süreçlerden olan bu işlemde çalışan sepeti hareket ettirebilmek için aşırı güç uygulamak zorunda

kalmaktadır. Bu görev için elektrikli bant sisteminin yapılması önerilmektedir. Bu uygulama ile çalışanın çekme sırasındaki çabasının ve zorlanmasının ortadan kalkacağı düşünülmektedir.

- Risk seviyesi yüksek çıkan diğer görevler ise genellikle çalışanın uygunsuz pozisyonda iş yapmasından kaynaklanmaktadır. Çalışanlar doğru vücut duruşları hakkında bilgiye sahip olmadıklarında görevleri uygun olmayan pozisyonda gerçekleştirebilmektedir. Bu noktada çalışanların doğru çalışma duruşları hakkında bilgilendirilmesinin bu görevlerdeki riskleri azaltacağı düşünülmektedir.
- Risk seviyesi çok yüksek çıkan görevler 1000'lik makine üzerinde yoğunlaşmaktadır. Risk seviyesinin diğer makinelere göre yüksek çıkmasının temel nedeni 1000'lik makinedeki işlenen tellerin çap kalınlığının daha fazla olmasıdır. Tel çapı kalınlaştıkça kesme, kaynatma ve taşlama işlemleri çalışanları daha fazla zorlamaktadır. Bu durum özellikle 1000'lik makine çalışanlarının diğer makine çalışanlarına kıyasla daha fazla riske maruz kalmasına neden olmaktadır. Makine sayısının çok fazla olmadığı tel çekme bölümündeki personelin makinelerde dönüşümlü çalışması önerilmektedir. Bu rotasyon sayesinde çalışanların maruz kaldıkları farklı seviyedeki risklerin ortadan kaldırılacağı ve çalışanların aynı işi yapabileceğinin artacağı düşünülmektedir. Bu uygulama ile tel çekme bölümündeki çalışanların aynı işlerdeki performans karşılaştırmasının da yapılabileceği düşünülmektedir.
- Çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer alan görevlerin toplam işlem süreleri, ortalama 16 dk 2 sn sürmektedir. İyileştirme önerilerine uyulması sonucunda işlem sürelerinde %50 oranında kısalmanın olacağı ön görülmektedir. Bu durumun gerçekleşmesi halinde çok yüksek ve yüksek risk kategorisindeki görevlerin sürelerinde, ortalama 8 dk kısalma meydana gelecektir. Günde 3 vardiya çalışan fabrikada, 15 defa bu süreçlerin tekrar ettiği varsayıldığında, toplam işlem süresi günlük ortalama 120 dk kısalacaktır. Yıllık bazda bakıldığında ise tel çekme bölümünde yaklaşık 600 saatlik bir çalışma zamanı kazanılacağını ifade etmek mümkündür. Bu hesaplardan hareketle, çalışmanın, kapasite kullanım oranı %20 olan tel çekme bölümünde verimliliğe ciddi oranda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada imalat işletmelerinin üretim süreçlerinde ortaya çıkabilecek risklerin belirlenmesine yönelik bir uygulama modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda civata üretimi yapan bir fabrikada örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama sürecinde mevcut yöntemler dikkate alınarak değerlendirme formatı geliştirilmiştir. Bu yanıyla çalışmanın özgünlüğünün artırılması amaçlanmıştır. Geliştirilen format çerçevesinde elde edilen veriler analiz edilerek riskli operasyonların değerlendirilmesi yapılmıştır.

Değerlendirme sürecinde REBA, RULA ve QEC olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmıştır. REBA ve RULA yöntemleri öncelikli olarak uygulanmış olup bu yöntemlerin hareketlerin tekrar sayısını dikkate almadığından dolayı ek olarak QEC yöntemiyle de analizler gerçekleştirilmiştir. Riskli olabilecek bütün görevlere bu üç yöntem uygulanmıştır. Sonrasında görevler için her bir yöntemle elde edilen risk seviyelerinin tek bir risk seviyesine dönüştürülmesi şeklinde bir yol izlenmiştir. Dönüştürmede risk seviyesi sonuçlarına göre üç yöntemden en az ikisinin işaret ettiği risk seviyesi veya ortalama risk seviyesi dikkate alınmıştır. Risk seviyesi çok yüksek veya yüksek çıkan görevler için iyileştirme önerileri sunulmuştur.

Geliştirilen uygulama formatının en önemli özelliklerinden birisi de süreçlerin video kaydına alınarak analizlerin yapılmasıdır. Bu konu üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda analizler fotoğrafa dayalı veriler üzerinden yapılmıştır. Fotoğraf çekilme esnasında çalışanlarda çevresel koşullara ve kısa çevrim sürelerine bağlı olarak baskı artabileceği için veri güvenilirliği azalabilmektedir. Dolayısıyla fotoğrafı tekniği ile toplanan verilerin analizleri gözlemciyi yanıltabilmektedir. Gözleme dayalı fotoğrafı yöntemindeki bu eksiklik dikkate alınarak süreçler aksiyon kameralarıyla farklı zamanlarda birçok kez video kaydına alınmıştır. Ayrıca ölçümden kaynaklanan hataları ortadan kaldırılabilmesi için çalışanların duruş pozisyonlarına ilişkin açı değerleri Dartfish paket programı ile hesaplanmıştır.

Tel çekme bölümü, fabrikada emeğin en yoğun olduğu ve çalışanların fiziksel olarak en çok zorlandığı bölüm olarak düşünüldüğü için tercih edilmiştir. Yine aynı sebeple tel çekme bölümünde emeğin yoğun olduğu makineler incelemeye alınmıştır. Araştırmanın bulguları çalışanlar aynı bölümde benzer işleri yapsalar bile kullanılan el aletlerinden, duruş pozisyonlarından, iş yapış biçimlerinden ve makine farklılığından kaynaklı farklı seviyelerde riske maruz kaldıklarını göstermektedir. Bu farklılıklar çalışanların performanslarını, motivasyonlarını ve verimliliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Çalışanların performanslarını motivasyonunu ve verimliliğini etkileyecek her şey aynı zamanda işletmenin genel performansını da etkileyeceği için bu farklılıkların ortadan kaldırılması hem çalışan hem de işletme açısından büyük önem taşımaktadır.

Hesaplamalar sonucunda görevlerin %43'ünün orta risk, %22'sinin yüksek risk, %22'sinin düşük risk ve %13'ünün çok yüksek risk grubunda olduğu görülmüştür. Görevlerin toplamda %35'i çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer almaktadır. Bu sonuç söz konusu görevlerin kısa süre içerisinde veya acilen iyileştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu iyileştirmelerin gerçekleştirilebilmesi için üst yönetim ve çalışanların iyileştirmeleri kabullenmesi ve sahiplenmesi gerekmektedir. Ayrıca uygulama formatının fabrikanın diğer bölümlerinde de hayata geçirilmesi bu konuda bir örgüt kültürünün oluşmasına da katkı sağlayacaktır.

Çalışma sonucunda görevlerin risk seviyesine ilişkin bu bulgular literatürde yer alan risk değerlendirme çalışma sonuçlarına göre farklılık arz etmektedir (Atıcı vd., 2015; Ericsson vd., 2012; İnalçuk, 2019; Koç & Testik, 2016; Neşeli, 2016; Rahman, 2014; Rahmani vd., 2020). Bu farklılığın sektörden, çalışandan, yönetimden veya fabrikanın sahip olduğu üretim teknolojilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İyileştirme önerilerine uyulması sonucunda öncelikle tel çekme bölümündeki çalışanlarda iş yapmaya bağlı zorlanmaların azalacağı, çalışanların iş güvenliği ve yaşam kalitesinin iyileşeceği düşünülmektedir. Sonrasında ise bu önerilerin işlem sürelerini kısaltmasına ve çalışanlarda rahatsızlığın daha az yaşanmasına katkı sağlamasına bağlı olarak verimlilikte artış sağlayacağı düşünülmektedir. Tel çekme bölümünde ulaşılabilecek olumlu faydalar diğer bölümler ve hatta diğer fabrikalar için örnek teşkil edebilecektir. Bu çalışmada kullanılan yöntem ve metod diğer bölüm ve fabrikalarda da sistematik bir şekilde kullanılabilir. Çalışma kapsamında sistematik olarak geliştirilen uygulama modeli bilimsel birikime, bölgesel ve ulusal ekonomiye katkı sağlayacağı düşünülmektedir. İyileştirme

önerilerinin hayata geçirilmesinde yalnız üretim tekniklerinin kullanılması bir başka araştırma konusu olarak belirlenmiştir.

Kaynakça

- Alici, H., Ulusu Atıcı, H., & Gündüz, T. (2017). Mobilya Sektöründe Pnömatik Zımbalama ve Vidalama İşlerinin Ergonomik Risk Değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 211–225.
- Amell, T., & Kumar, S. (2001). Work-Related Musculoskeletal Disorders: Design as a Prevention Strategy. A Review. *Journal of occupational rehabilitation*, 11(4), 255–265.
- Andreas, G.-W. J., & Johanssons, E. (2018). Observational Methods for Assessing Ergonomic Risks for Work-Related Musculoskeletal Disorders. A Scoping Review. *Revista Ciencias de la Salud*, 16(SPE), 8–38.
- Atıcı, H., Gönen, D., & Oral, A. (2015). Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların REBA Yöntemi ile Ergonomik Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 239–244.
- Avcı, K., & Pala, K. (2004). Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesinde Çalışan Araştırma Görevlisi ve Uzman Doktorların Yaşam Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 30(2), 81–85.
- Bernacki, E. J., Guidera, J. A., Schaefer, J. A., Lavin, R. A., & Tsai, S. P. (1999). An Ergonomics Program Designed to Reduce the Incidence of Upper Extremity Work Related Musculoskeletal Disorders. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 41(12), 1032–1041.
- Bilir, N. (2007). Mesleki Kas İskelet Sistemi Hastalıkları. *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 34(7), 10–13.
- Boles, M., Pelletier, B., & Lynch, W. (2004). The Relationship Between Health Risks and Work Productivity. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 46(7), 737–745.
- Bulduk, E. Ö., Bulduk, S., Süren, T., & Ovalı, F. (2014). Assessing Exposure to Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders Using Quick Exposure Check (QEC) in Taxi Drivers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(6), 817–820.
- Burdorf, A., & Van Der Beek, A. (1999). Exposure Assessment Strategies for Work-Related Risk Factors for Musculoskeletal Disorders. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 25(4), 25–30.
- Burton, W. N., Conti, D. J., Chen, C.-Y., Schultz, A. B., & Edington, D. W. (1999). The Role of Health Risk Factors and Disease on Worker Productivity. *Journal of occupational and environmental medicine*, 41(10), 863–877.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (2014). Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): OSH Answers. 26 Ocak 2020 Tarihinde, <https://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/rmirsi.html> adresinden erişildi
- David, G. C. (2005). Ergonomic Methods for Assessing Exposure to Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190–199.
- David, G., Woods, V., Li, G., & Buckle, P. (2008). The Development of the Quick Exposure Check (QEC) for Assessing Exposure to Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Applied Ergonomics*, 39(1), 57–69.
- Deste, M., & Sever, S. (2019). İmalat İşletmelerinde Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz. *Ekev Akademi Dergisi*, 209–224.
- E-Kart | İSG (İş Sağlığı Güvenliği). (y.y.). 05 Kasım 2019 tarihinde, <https://www.ekart.com.tr/ISG.aspx> adresinden erişildi.
- Eklund, J. A. E. (1995). Relationships between ergonomics and quality in assembly work. *Applied Ergonomics*, 26(1), 15–20.
- Ericsson, P., Björklund, M., & Wahlström, J. (2012). Exposure Assessment in Different Occupational Groups at a Hospital Using Quick Exposure Check (QEC)—A Pilot Study. *Work*, 41(Supplement 1), 5718–5720.
- Esen, H., & Fiğlali, N. (2013). Çalışma Duruşu Analiz Yöntemleri ve Çalışma Duruşunun Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Etkileri. *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 17(1), 41–51.
- Foye, P. M., Cianca, J. C., & Prather, H. (2002). Cumulative Trauma Disorders of the Upper Limb in Computer Users. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83, S12–S15.
- Grossmeier, J., Mangen, D. J., Terry, P. E., & Haglund-Howieson, L. (2015). Health Risk Change as a Predictor of Productivity Change. *Journal of occupational and environmental medicine*, 57(4), 347–354.
- İnalçuk, E. (2019). Investigation of Ergonomic Risks in Manufacturing Sector Using Quick Exposure Check Method. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Karwowski, W., & Gavriel, S. (1998). *Ergonomics in Manufacturing*.
- Koç, S., & Testik, Ö. M. (2016). Mobilya Sektöründe Yaşanan Kas-İskelet Sistemi Risklerinin Farklı Değerlendirme Metotları ile İncelenmesi ve Minimasyonu. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(2), 2–27.
- Küçük, O., Özbek, A., & Küçük, N. (2015). Sağlık Sorunları Sebebiyle İşgücü Kaybının Örgüt Performansına Etkisi Üzerine Bir Çalışma. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 311–332.
- Lasota, A. M. (2014). A REBA-Based Analysis of Packers Workload: A Case Study. *Scientific Journal of Logistics*, 10(1), 87–95.
- Li, G., & Buckle, P. (2004). Quick Exposure Checklist (QEC) for the Assessment of Workplace Risks for Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). İçinde *Handbook of human factors and ergonomics methods* (ss. 74–85). CRC Press.
- Li, X., Gül, M., & Al-Hussein, M. (2019). An Improved Physical

- Demand Analysis Framework Based on Ergonomic Risk Assessment Tools for the Manufacturing Industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70, 58–69.
- Massaccesi, M., Pagnotta, A., Soccetti, A., Masali, M., Masiero, C., & Greco, F. (2003). Investigation of Work-Related Disorders in Truck Drivers Using RULA Method. *Applied ergonomics*, 34(4), 303–307.
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: A Survey Method for the Investigation of Work-Related Upper Limb Disorders. *Applied ergonomics*, 24(2), 91–99.
- McAtamney, L., & Hignett, S. (2000). Rapid Entire Body Assessment(REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201–205.
- Middlesworth, M. (2019). A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool. 13 Mart 2020 tarihinde, <https://ergo-plus.com/rula-assessment-tool-guide/> adresinden erişildi.
- Neşeli, C. (2016). Ergonomik Risk Analizi Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Kalıp Firmasında Uygulanması. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, İzmir.
- Özcan, E. (2011). İş Yerinde Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi ve Hızlı Maruziyet Değerlendirme (HMD) Yöntemi. *Ergonomics Risk Assessment and Quick Exposure Check (QEC)*, (616), 86–89.
- Özcan, E., & Kesiktaş, N. (2007). Mesleki Kas İskelet Hastalıklarından Korunma ve Ergonomi. *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 34(7), 6–9.
- Ozcan, E., Kesiktaş, N., Alptekin, K., & Ozcan, E. E. (2008). The Reliability of Turkish Translation of Quick Exposure Check (QEC) for Risk Assessment of Work Related Musculoskeletal Disorders. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 21(1), 51–56.
- Özel, E., & Çetik, O. (2010). Mesleki Görevlerin Ergonomik Analizinde Kullanılan Araçlar ve Bir Uygulama Örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 41–56.
- Öztürk, N. Ş., & Akbulut, Y. (2011). Hemşirelerin İş Gücü Verimliliğini Etkileyen Örgütsel Faktörler Konusundaki Tutumlarının Belirlenmesi. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 10(1), 19–30.
- Rahma, R. A. A., & Faiz, I. (2019). Work Posture Analysis of Gamelan Craft Center Workers Using Quick Methods of Ergonomic Risk Assessment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1381(1), 12027. IOP Publishing.
- Rahman, C. M. (2014). Study and Analysis of Work Postures of Workers Working in a Ceramic Industry Through Rapid Upper Limb Assessment (RULA). *International Journal of Engineering*, 5(3), 8269.
- Rahmani, R., Shahnavazi, S., Fazli, B., & Ghasemi, F. (2020). Ergonomic Assessment of Musculoskeletal Disorders Risk in a Cement Factory Workers Using QEC Technique. *Pajouhan Scientific Journal*, 18(2), 83–90.
- Riedel, J. E., Lynch, W., Baase, C., Hymel, P., & Peterson, K. W. (2001). The Effect of Disease Prevention and Health Promotion on Workplace Productivity: A Literature Review. *American Journal of Health Promotion*, 15(3), 167–191.
- Sağiroğlu, H., Coşkun, B., & Erginel, N. (2015). REBA ile Bir Üretim Hattındaki İş İstasyonlarının Ergonomik Risk Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 339–345.
- Savitri, A., Mulyati, G. T., & Aziz, I. W. F. (2012). Evaluation of Working Postures at a Garden Maintenance Service to Reduce Musculoskeletal Disorder Risk (A case study of PT. Dewijaya Agrigemilang Jakarta). *Agroindustrial Journal*, 1(1), 21–27.
- Sencer, M., Eldem, C., Top, N., & Şahin, İ. (2019). RULA Yöntemi Kullanarak Şehir İçi Otobüslerdeki Havalandırma Pencerelerinin Ergonomik Analizi. *International Symposium on Automotive Science and Technology*. Ankara.
- Sevimli, M., Atıcı Ulusu, H., & Gündüz, T. (2018). Piriç Paketleme İşinde Çalışanların Çalışma Koşullarının Ergonomik Risk Analizleri ile Geliştirilmesi. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 38–54.
- SGK. (2019). SGK 2017. 20 Aralık 2019 tarihinde , http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari adresinden erişildi.
- Silverstein, B., & Clark, R. (2004). Interventions to Reduce Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.
- Sukadarin, E. H., Md Deros, B., Ghani, J. A., Ismail, A. R., Mokhtar, M. M., & Mohamad, D. (2013). Investigation of Ergonomics Risk Factors for Musculoskeletal Disorders among Oil Palm Workers Using Quick Exposure Check (QEC). *Advanced Engineering Forum*, 10, 103–109.
- Testa, M. A., & Simonson, D. C. (1996). Assessment of Quality-Of-Life Outcomes. *New England journal of medicine*, 334(13), 835–840.
- Ünver Okan, S., & Kaya, A. (2015). Orman Fiidanlıklarında Fidan Repikaj İşlerinde Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi İle Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 157–163.
- Uskun, E., Öztürk, M., Kişioğlu, A. N., & Sönmez, Y. (2015). Bir Sanayi Sitesinde Küçük Ölçekli İşyerlerindeki Risk Faktörleri ve Yaşam Kalitesi ile İlişkisi. *Türkiye Halk Sağlığı Dergisi*, 13(2), 97.
- Verbeek, J., Pulliainen, M., & Kankaanpää, E. (2009). A Systematic Review of Occupational Safety and Health Business Cases. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 35(6), 403–412.
- Village, J., Trask, C., Luong, N., Chow, Y., Johnson, P., Koehoorn, M., & Teschke, K. (2009). Development and Evaluation of an Observational Back-Exposure Sampling Tool (Back-EST) for Work-Related Back Injury Risk Factors. *Applied Ergonomics*, 40(3), 538–544.



Yapı Sistemlerinde Patlama Etkilerinin ve Patlama Güvenliğinin Araştırılması

Elif Toplu¹, Osman Kırtel^{2*}

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6451-0323), eliftoplu@subu.edu.tr

^{2*} Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8019-560X), okirtel@subu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 26 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.913858)

ATIF/REFERENCE: Toplu, E., Kırtel, O. (2021). Yapı Sistemlerinde Patlama Etkilerinin ve Patlama Güvenliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 442-450.

Öz

Terör faaliyetleri sonucu meydana gelen patlamalar binalara büyük zararlar vermekte ve birçok can kaybına neden olmaktadır. Bomba yüklü araçlarla yapılacak saldırılarda bu araçlar, hedeflenen yapıya erişim kolaylığı sağlarken, araç kapasitelerine göre çeşitli miktarlarda patlayıcı getirme olanağına sahiptir. Literatürde yapıların patlama güvenliğine yönelik çalışmalarda, eleman bazında ya da yapısal olarak birtakım analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Patlama yükü etkisi altında tek bir yapı elemanının performansının belirlenmesi, yapısal bir sistemde çökme analizlerinin yapılması, yapıya dinamik patlama yüklerinin etki ettirilmesi bunlardan bazılarıdır. Bu çalışma kapsamında öncelikle sonlu eleman yöntemine dayalı analiz yapan SAP2000 yazılımı kullanılarak farklı mesafelerden uygulanan patlama yükleri için yapının analizleri gerçekleştirilmiş ve patlayıcıya en yakın konumda bulunan kolonun dinamik davranışı incelenmiştir. Ayrıca eleman bazlı ve tek serbestlik dereceli sisteme dayalı analiz yapan RC-Blast yazılımında mevcut kolonun modellenmesi yapılarak kolon kapasiteleri belirlenmiştir. Yapıların patlama güvenliğine yönelik sismik taban yalıtımı uygulaması önerilmiş ve yalıtımlı ve yalıtımsız yapı durumları için kritik noktadaki kolonda meydana gelen etki/kapasite oranları karşılaştırılmıştır. Sismik izolatörlü yapıların patlama etkilerini daha iyi sönmülediği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda RC-Blast ve SAP2000 yazılımlarında yapılan çözümlenmelerde yapı davranışları ancak başlangıç seviyesinde benzerlik göstermektedir. Patlama etkilerini azaltmak amacıyla yapı çevresine korunaklı duvar inşa edilmesi önerilmiştir. Yapıların patlama etkileri altında davranışı kesin olarak bilinmemekle birlikte çözüm yöntemlerinin farklılaştırılması belirli yaklaşımları beraberinde getirebilmektedir. Patlama analizlerinde eleman bazlı ve sistem bazlı yöntemlerin bir arada kullanımının daha verimli sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patlama, Sismik Yalıtım, Etki/Kapasite, Koruma duvarı.

Investigation of Explosion Effects and Explosion Safety on Structural Systems

Abstract

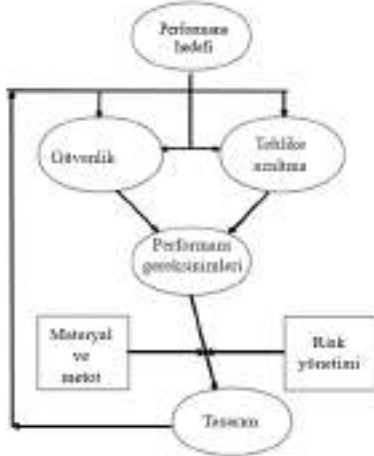
Explosions induced by terrorist activities have been made cause great damage to buildings and cause many casualties. In attacks by bomb-laden vehicles, while the bomb-laden vehicles provide ease of access to the targeted structure, they have been the opportunity to bring various amounts of explosives according to the vehicle capacities. In the studies about explosion safety in the literature, some analysis methods are encountered on the basis of element or structural. Some of these are determining the performance of a single structural element under the effects of blast loads, performing collapse analyses in a structural system, and effect dynamic explosion loads on the structure. Within the scope of this study, explosion analyses at different distances were made using the SAP2000 software based on finite element method. The dynamic behaviour of the column located closest to the explosive was modelled in the RC-Blast software, which analyses the column based on a single degree of freedom system, and column capacities were determined and evaluated. Seismic base isolation application for explosion safety of buildings has been proposed and the effect/capacity ratios occurring in the column at the critical point for isolated and fixed-based building situations are compared. It was concluded that structures with seismic isolators absorb explosive effects better. Sheltered around a wall of the building have been recommended to reduce the effects of explosions. Although the behaviour of the structures under the effect of the explosion is not fully known, differentiation of solution methods may bring some approaches. It was concluded that the combination of element-based and system-based methods in explosion analysis would produce more efficient results.

Keywords: Explosion, Seismic Isolation, Impact / Capacity, Shielding wall.

* Sorumlu Yazar: okirtel@subu.edu.tr

1. Giriş

Güvenli bir bina tasarımında öncelikle yapı performans hedefi belirlenmektedir. Performans hedefinin sağlanmasında güvenlik önlemleri ve tehlike azaltma stratejileri önemli rol oynamaktadır. Patlama olaylarında risk yönetimi ve yapı tasarımında kullanılacak yöntemler patlamaya dayanıklı yapı tasarımının gerekliliklerindedir (Şekil 1).

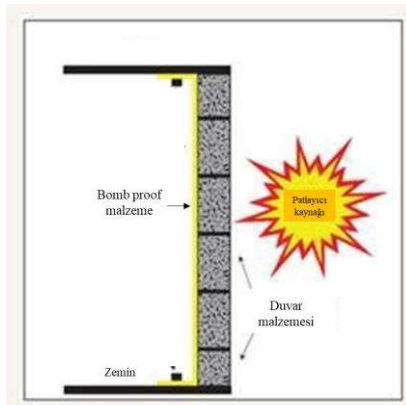


Şekil 1. Patlamaya karşı yapı tasarımında performans hedef şeması (National Research Council, 2002)

Patlama olayları sık karşılaşılan bir durum olmadığından riskli yapıların analiz edilmesi gerekmektedir. Bu binaların günlük işlevlerine müdahale edilmeden gereksiz yere saldırganların dikkatini çekmeyecek güvenlik önlemlerinin alınması ve optimum tasarımının yapılması gerekmektedir. Yapı girişleri ve binaların altında kullanılan depo ve park alanlarına araçların girişine müsaade edebilmekte ve tehlide açıktır. Patlama güvenliğinin sağlanabilmesi için yapı girişinde kullanılan duvar, bariyer, heykel, ağaç vb. her türlü araç-gereç risk azaltmada kullanılmaktadır (Hinman, 2017).

Yapıların patlama etkilerine korunmasında kullanılan yöntemlerden biri de patlama etkilerine karşı geliştirilen kompozit malzemelerdir. Patlama etkilerine karşı duvarların güçlendirilmesini amaçlayan çeşitli malzemeler geliştirilmiştir.

ABD Ordusu Mühendisler Birliği ile birlikte Berry Plastics tarafından geliştirilen X-Flex koruyucu duvar kâğıdı (2005-2008), patlama etkilerine karşı duvarların dayanımını arttırabilmektedir. (Greenemeier, 2008)



Şekil 2. Bombaya dayanıklı malzeme örneği X-Flex (Url-1)

Bu çalışmada patlama etkilerine karşı alınmakta olan standart güvenlik önlemlerinin dışında sismik taban izolatörlü yapılarda patlama etkisi altında güvenliğin sağlanıp sağlanamayacağı ve ne kadar etkili olacağı araştırılmıştır. Sistem bazında ve elaman bazında analiz yöntemleri karşılaştırılmış ve etki/kapasite oranları farklı patlayıcı miktarlarına göre literatürde sunulmuş olan yönetmeliklerdeki referans patlayıcı ve ağırlıklar göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Patlama analizlerini elaman bazında yapan RC-Blast yazılımı kullanılarak yapılan analiz sonuçları ile SAP2000 yazılımında sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak sitem bazında yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca patlama güvenliğinin sağlanması için bir koruyucu duvar sistemi önerilmiş ve sismik izolatörlü ve izolatörsüz yapılar için verim değerleri karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Patlama

Bir patlama olayı sonucunda oluşan basınç dalgaları yapı yüzeyine etki ederek itme kuvveti meydana getirmektedir. Birçok çalışmada patlama etkileri elaman bazında dikkate alınmış ve patlama analizi yapan yazılımlar ve deneysel yöntemler kullanılarak yapısal elaman davranışları incelenmiştir. Patlama dalgası basıncı hesabında patlayıcı miktarı, patlama mesafesi ve patlayıcı özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Patlama mesafesi kavramı yapı dışında meydana gelen belli mesafede oluşacak patlamaları ifade etmektedir. Sistem bazında çalışmaların deneysel olarak yapılması pek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle ölçeklendirme kanunlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Hopkinson (1915) ve Craz (1926), patlayıcı miktarı ve patlama mesafesine dayanan Hopkinson - Craz ölçeklendirme yasasını (Küp Kök Ölçeklendirme Yasası) geliştirmiştir (Baker, 1973 ; Mays ve diğ., 1995). Hopkinson-Craz yasası, güvenli patlama mesafelerinin hesabının patlayıcı miktarının yanı sıra patlayıcı gücüne de bağlı olduğunu göstermektedir.

Feng Fu (2012), yüksek binalarda patlama etkilerinin deneysel olarak ölçülmesi oldukça maliyetli olduğundan ölçeklendirme kanunlarından yararlanmış ve patlama yükleri etkisi altında yüksek binaların dinamik davranışı hakkında bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında patlama etkilerini, aşamalı çökme analiz metodundan farklı olarak direkt yapıya uygulamış ve iki yöntemi karşılaştırmıştır. Analizlerde Abaqus yazılımını kullanarak patlama yüklerinin varış süreleri hesap edilmiş ve zamana bağlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Yüklerin uygulanmasında sıvı-yapı etkileşim (Fluid-Structure Interaction) modeli esas alınmıştır. Çalışma sonucunda patlama yüklemesi sonucu elde edilen verilerin aşamalı çökme analizinden elde edilen verilerden daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Bu nedenle yüksek yapıların patlama etkilerine karşı güçlendirilmesinde patlama yüklerinin simule edilmesinin daha etkili olacağını belirtmiştir.

Hrvoje Draganić ve Vladimir Sigmund (2012), Manmohan Dass Goel ve Vasant Matsagar (2014), Zhang ve Philips (2015), Kazi ve Mulley (2017) patlama yükleri etkisi altında yapı performansının değerlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalarda bulunmuşlardır.

Y.A. Al-Salloum ve diğ. (2017), terör kaynaklı patlama etkilerinin yüksek binalara etkileri üzerine sayısal bir çalışmada bulunmuşlardır. Çalışmalarında bir sedan arabasının yapı önünde

patlatıldığı senaryosu üzerine LSDYNA yazılımı kullanılarak patlama yüklerinin 28 katlı betonarme bir yapıya etkisini incelemiştir. Çalışma, analizlerin gerçekleştirilmesi bakımından lokal ve global olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Lokal modelde patlama senaryosundan etkilenmesi muhtemel elemanların sonlu eleman modeli oluşturulmuş global model de ise tüm yapının sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Patlama analizlerinde iki aşamalı bir analizin gerekli olduğunu, lokal analiz aşamasında eleman hasarlarının belirlenmesinin ardından, global analiz aşamasında da yapının genel tepkisinin değerlendirilmesinin gerçekçi bir yaklaşım olabileceğini belirtmişlerdir.

Lina K. Kadhum ve Ali Kifah Kadhum (2020), çalışmalarında çelik çerçeveli düzensiz bir yüksek binanın ETABS 2018 yazılımı kullanılarak patlama etkileri altında dinamik analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında UFC kriterlerinden yararlanarak patlama yüklerini tasarlamışlar ve yapı yüzeyine etki ettirmişlerdir. Yapıda meydana gelen görel kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetlerini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda artan TNT ağırlığının yapıda alt kat ve orta katları etkilediğini bu nedenle de mimari tasarımda katların işlevini seçmede iç tasarımında bu durumun etkili olacağını belirtmişlerdir.

Shobha R, ve diğ. (2020), patlama etkileri altında düzenli ve düzensiz yapısal çerçeveye sahip yapıların çeşitli mesafe ve çeşitli patlayıcı ağırlıklarına göre patlama analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda düzensiz çerçeveli yapıların patlama etkilerine daha duyarlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Patlama etkileri birçok rapor ve yönetmelikte de yerini almıştır. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Kingery ve Bulmash (1984) Teknik Raporu
- Nükleer Silah Etkilerine Dayanıklı Yapı Tasarımı (ASCE Manual 42 1985)
- Patlama Etkilerine Dayanıklı Yapı tasarımı (USDA 1990)
- Ordu Teknik El Kitabı (Ordu Dairesi, 1990)
- Birleşik Tesisler Kriterleri (2008)

2.1.1. Patlamanın Yapı Üzerinde Etkisinin Sayısal Hesabı ve Yaklaşımlar

İdeal patlamalarda şok ve basınç dalgalarının atmosferde homojen olarak dağıldığı kabul edilmektedir. Basınç dalgalarının bir yüzeye çarpması sonucu ise yüzenden yansımalar meydana gelmektedir. Meydana gelen yansıyan patlama dalgaları, yapı üzerine etki edecek basınç yükünü serbest hava içinde ki bir patlamaya göre yaklaşık bir ya da iki kat arttırabilmektedir. Bu nedenle bir patlama olayında patlama yükünün tahmini yapılabilir olmasına karşın yapı yüzeyinde meydana gelecek hasarın tahminine yönelik ancak yaklaşımlarda bulunulabilmektedir (Karlos ve Solomos, 2013).

Patlama dalgası itki yükü, patlamanın zamana bağlı basıncının toplam ifadesidir. Patlama dalgası darbe yükü eşitliği denklem 1’de, darbe yükü eşitliğinin hesabında gerekli olan patlama yükü basıncı denklem 2’de, patlama yükü basıncının hesabında gerekli olan ölçeklenmiş mesafe ve eş değer patlayıcı ağırlığı sırasıyla denklem 3 ve 4’te verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Patlama etkisi hesabı formülasyonları

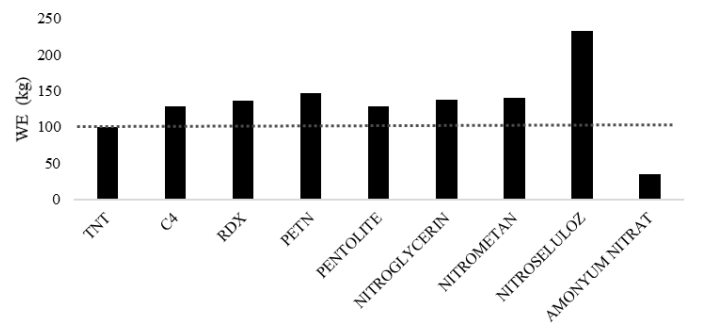
Formülasyonlar	
$I = \int_t^{t+t_{son}} P_s(t) dt$	(1)
$P_s(t) = P_{so} (1 - \frac{t}{t_o}) \exp(-b.t/t_o)$	(2)
$Z = R.W^{1/3}$	(3)
$W_{es} = W_{Patlayıcı} H_{Patlayıcı} / H_{TNT}$	(4)

Patlayıcı madde taşımacılığında güvenliğin sağlanması için araçların bagaj kapasitelerine dayanarak patlayıcı miktarları ve patlama noktasına emniyetli mesafeler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Patlama noktasına emniyetli mesafeler (Emergency Response Guidebook, 2016)

Patlayıcı Kapasitesi	Patlama Noktasına Emniyetli Mesafe
Çanta (23 kg)	47-563 m
Hatch-back otomobil (227 kg)	99-579 m
Sedan otomobil (454 kg)	123-731 m
Minibüs (1814 kg)	196-1158 m
Kamyonet/Yakıt Tankeri (4536kg)	264-1554 m
Kamyon (27273 kg)	476-2834 m

Patlayıcı ağırlığı arttıkça belli bir oranda güvenli patlama mesafeleri de artış göstermektedir. Bu mesafeler Hopkinson-Cranz Yasasına göre eş değer patlayıcının ağırlığının küp kökü oranı ile hesap edilebilmektedir. Eş değer patlayıcı ağırlığı ise Şekil 3’te görüldüğü gibi farklı tipte patlayıcıların TNT eş değer ağırlığını ifade etmektedir.



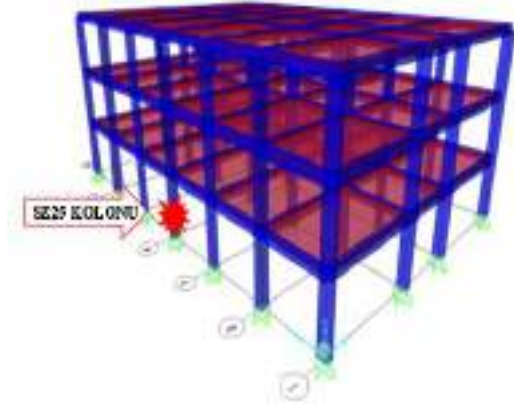
Şekil 3. 100 kg TNT'ye eş değer patlayıcılar

Bu çalışmada da eş değer patlayıcı ağırlıkları farklı mesafelere göre hesap edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan SAP2000 yazılımı kullanılarak betonarme bir yapı modeli üzerinde patlama analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla toplu kütle modelini esas alan RC-Blast yazılımı kullanılarak patlayıcıya en yakın konumda bulunan kolon için patlama analizleri yapılmıştır (Şekil 4). SAP2000 yazılımında doğrusal hesap yöntemleri dikkate alınırken RC-Blast yazılımında kolon kesitinin doğrusal olmayan malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Literatürdeki çalışmalarda tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli analiz

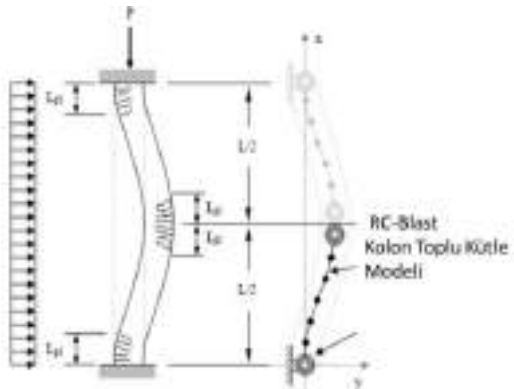
yöntemlerinin birlikte kullanıma yönelik açıklamalar bulunsa da taban yalıtımlı yapılar için bu yöntemlerin birlikte değerlendirildiği bir çalışma bulunmamaktadır.

3. Sayısal Çalışma

Bu çalışmada aynı geometriye ve malzeme özelliklerinde düşeyde 480411,90 kN/m ve yatayda ise 405,69 kN/m rijitliğe sahip kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü yapı ile zemine rijit bağlı (ankastre mesnetli) iki farklı yapı modeli patlama etkilerine maruz bırakılmıştır. Patlama noktasına kritik mesafede bulunan kolonun RC-Blast programında patlama analizi gerçekleştirilmiş ve SAP2000 yazılımında sistem bazlı yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. RC-Blast yazılımı kullanılarak SZ25 kolonunun dayanım grafiği elde edilmiştir. Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapının farklı mesafelerde patlama etkilerine maruz kalması durumunda kritik noktadaki kolonda (SZ25) meydana gelen patlama etkileri kolon kapasitesi ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4). Yapıların korunmasına yönelik bir güvenlik duvarı tasarımı yapılmış ve patlama noktası ile yapı arasına yerleştirilmiş ve güvenlik duvarı etkileri incelenmiştir.



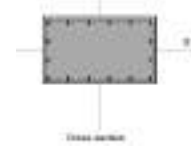
a) SAP2000 modeli



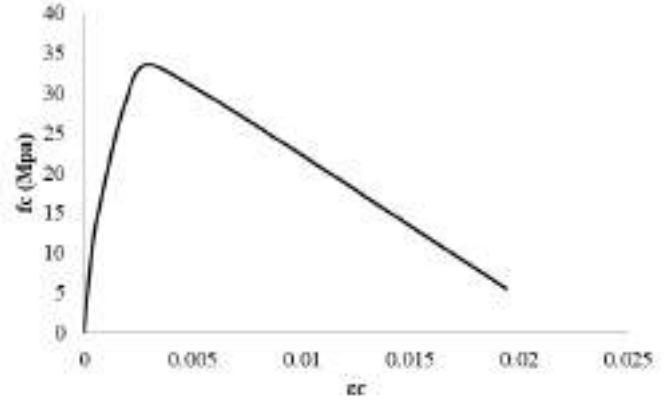
b) RC-Blast modeli

Şekil 4. Patlayıcıya en yakın konumda bulunan SZ25 kolonu

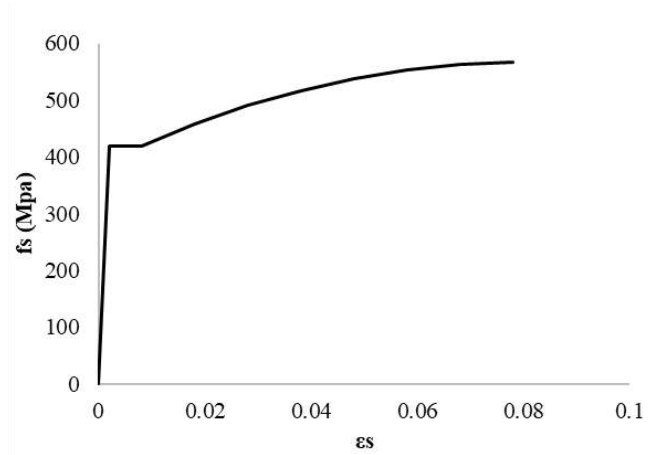
RC-Blast yazılımında tanımlanan SZ25 kolonuna ait kesit özellikleri Şekil 5'te verilmiştir. Beton özellikleri Şekil 5a'da belirtildiği üzere Saatçioğlu-Ravzi sargılı beton modeli esas alınarak tasarlanmıştır. Kolon kesitinde B420C çeliği kullanılmıştır (Şekil 5b). Kolon ait moment eğrilik grafiği Şekil 5c 'de verilmiş olup RC-Blast yazılımında doğrusal olmayan davranış dikkate alınmıştır.



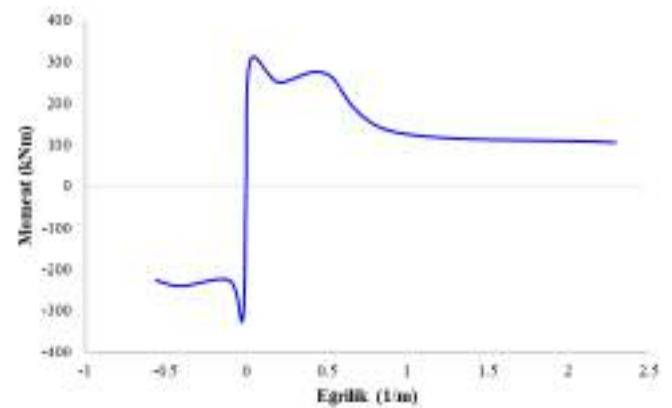
Kolon kesiti 350/600 mm² (16φ16)



a) C25/30 betonu



b) B420C Çeliği

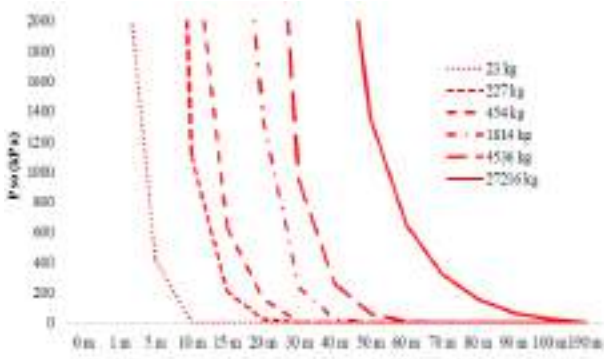


c) SZ25 Kolonu moment eğriliği

Şekil 5. Kolon kesit özellikleri

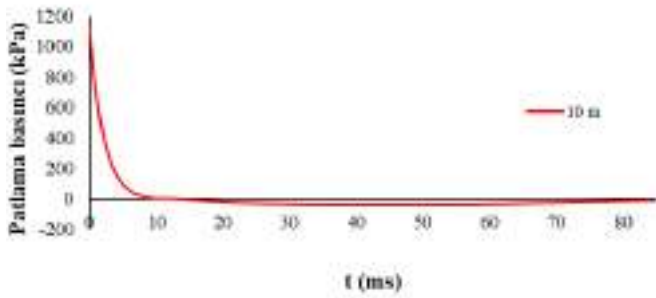
Tablo 2'de verilmiş olan patlama mesafeleri ve Şekil 3 'te verilmiş eş değer patlayıcı ağırlıkları dikkate alındığında, Şekil 6'da farklı patlayıcıların yapı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine yönelik patlama basıncı hesabı yapılmış ve güvenli mesafeler elde edilmiştir. Farklı ağırlıktaki TNT'lerin ne kadar mesafede sönmüneceği Şekil 6'da görülmektedir.

Maksimum patlama basınçları Şekil 7’de verilmiş olan grafiklerin maksimumlarını ifade etmekte olup Şekil 6’da farklı durumlar için hesap edilmiştir.

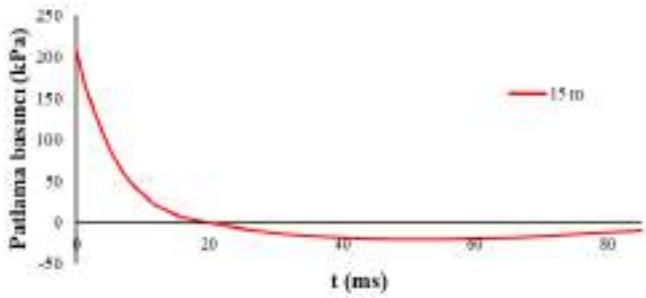


Şekil 6. Maksimum patlama basınçları

227 kg TNT etkisi altında 10 metre mesafede 1111 kPa’lık bir maksimum patlama basıncı oluşurken 15 metre mesafede 207 kPa’lık bir patlama basıncı meydana gelmektedir (Şekil 7).



a) 10 metre mesafede patlama etkisi

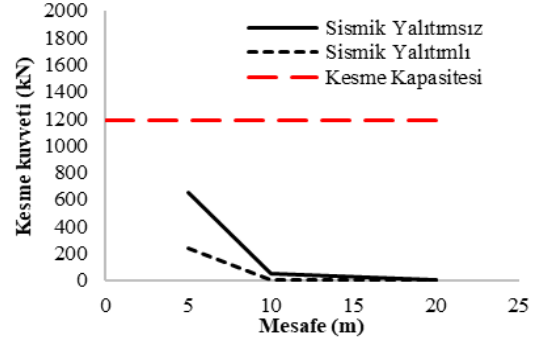


b) 15 metre mesafede patlama etkisi

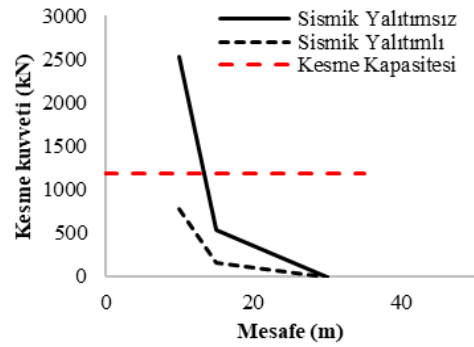
Şekil 7. 227 kg TNT için patlama basıncı grafikleri

Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapının farklı mesafelerde patlama etkilerine maruz kalması durumunda kritik noktadaki kolonda meydana gelen patlama etkileri kolon kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. 227 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu, sismik yalıtımlı yapıda güvenli bölgede kalırken sismik yalıtımsız yapıda 10 metre mesafede kolon kapasitesi aşılmıştır (Şekil 8). Tablo 2’de verilmiş olan mesafeler yapı üzerindeki etkiyi ifade etmediğinden basınç ve mesafe bakımından yapının alacağı hasar hakkında bu grafikten bilgi edinilebilmektedir.

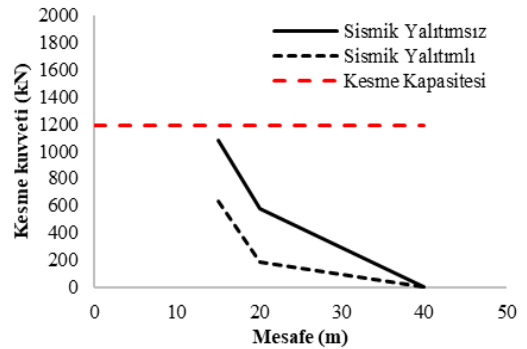
Örneğin 23 kg TNT 5 metre mesafede yaklaşık 420 kPa etki oluştururken Şekil 8a incelendiğinde kesme kapasitesinin aşılmadığı görülmektedir.



a) 23 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

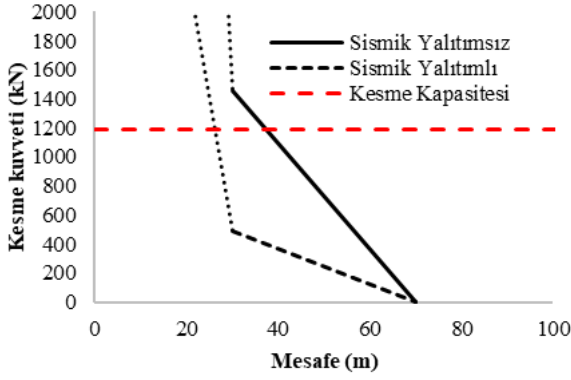


b) 227 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

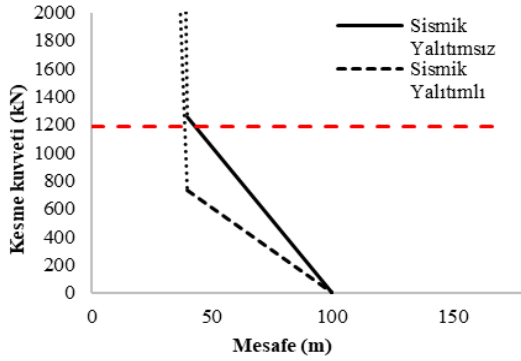


c) 454 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

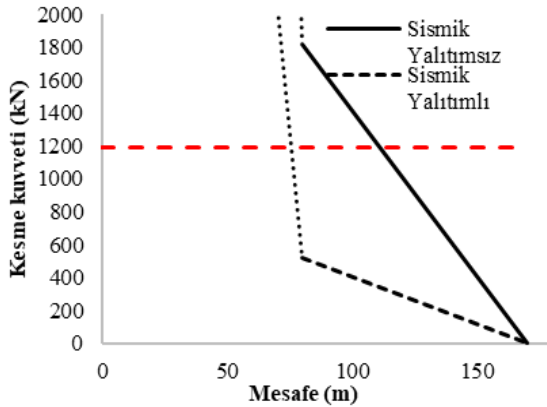
Şekil 8. Kritik noktadaki kolonda meydana gelen patlama etkileri ve kolon kapasitelerinin karşılaştırılması



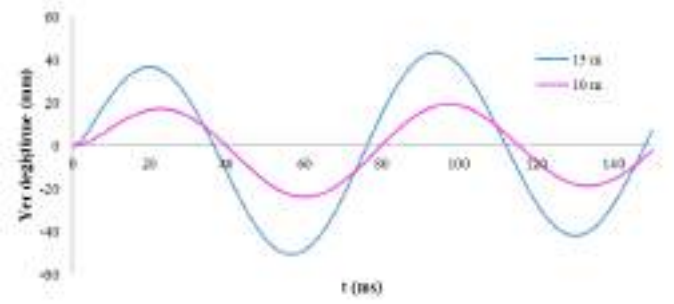
d) 1814 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



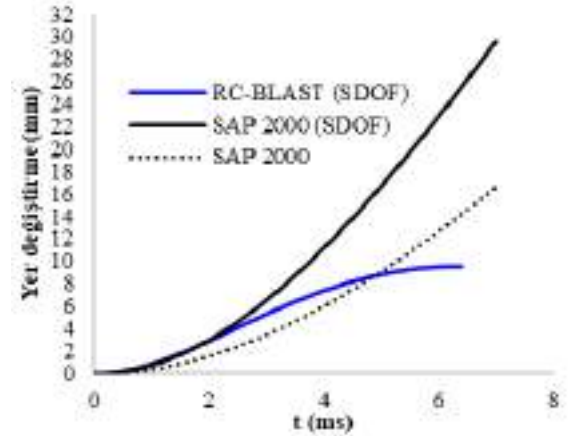
e) 4536 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



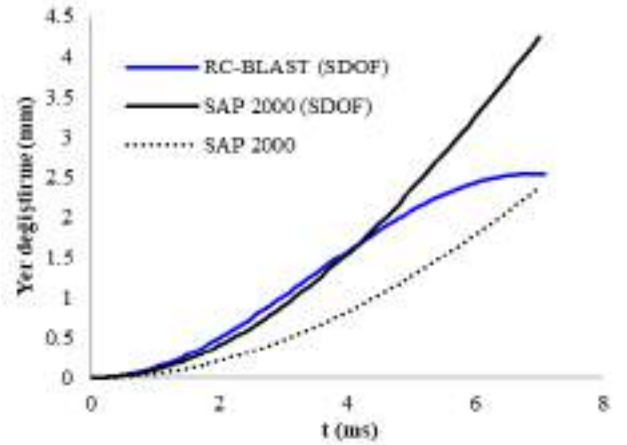
f) 27256 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



a) RC-Blast yer değiştirmeler



b) 10 metre mesafede patlama



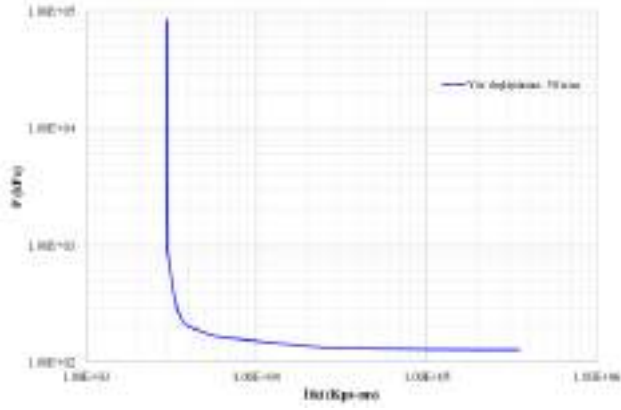
c) 15 metre mesafede patlama

Şekil 9. SZ25 kolonu için yer değiştirme zaman grafiğlerinin karşılaştırılması (227 kg TNT)

Şekil 8. (devam) Kritik noktadaki kolonda meydana gelen patlama etkileri ve kolon kapasitelerinin karşılaştırılması

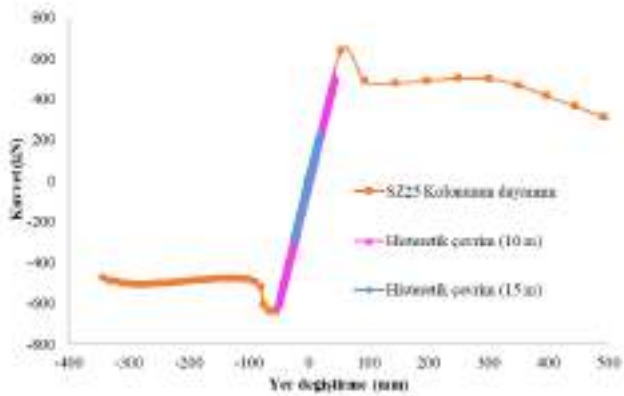
Kolonda meydana gelen Şekil değiştirmeler ayrıntılı bir Şekilde incelendiğinde Şekil 9'da eleman bazında SZ25 kolonu SAP2000 ve RC-Blast analizlerinden elde edilen sonuçlar başlangıçta rtŐe de sistem bazında bakıldığında ortalama bir yer değiştirme değerine ulaşılmaktadır.

RC-Blast yazılımda 50 mm için kolon kesitinin basınç-itki grafiği elde edilmiştir. Bu grafiğe göre kolonun 50 mm'lik bir yer değiştirme yapması için 100 MPa'lık bir basınç uygulanması gerekmektedir. Bu durumda yüzeyde oluşacak itki yaklaşık 9 MPa-ms dir.



Şekil 10. SZ25 kolonu için RC-Blast PI (Basınç-İtki) sonuçları

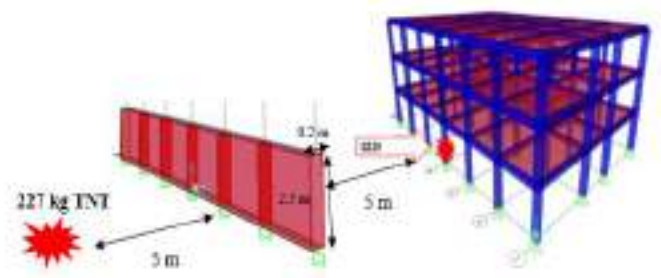
Şekil 11'de sismik yalıtımsız yapıda SZ25 kolonu için kolon histerezis eğrileri verilmiştir. 10 metre mesafede kesitin kritik noktada olduğu görülmektedir. Yaklaşık 50 mm'lik yer değiştirmede kesitin dayanımını yitireceği görülmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak adına yapıdan 5 metre uzakta betonarme perdelerle bir koruma duvarı oluşturulmuş ve bu durumda uygulanacak patlama yükleri etkisinde sismik izolatörlü ve izolatörsüz yapılarda oluşacak taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 11. SZ25 kolonu için yük çevrimi (kuvvet-yer değiştirme) grafikleri

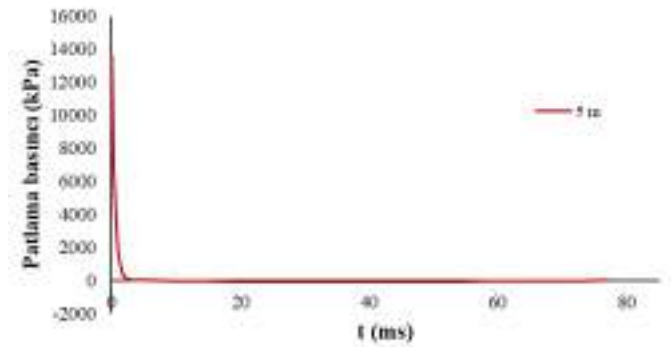
SAP2000 yazılımında itki yüklerinin tanımlanabilmesi bakımından genel hasar tahmini yapılabilmektedir. Elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde 227 kg'lık TNT etkisi altında 10 metre mesafede SZ25 kolonu dayanımını yitirken 15 metre mesafede patlama olduğunda kesit güvenli bölgede kalmaktadır (Şekil 8b). RC-Blast yazılımında da analiz sonuçları incelendiğinde yük çevrimlerinin 10 metrede kapasite sınırına ulaşıldığı 15 metrede ise elastik bölgede kaldığı görülmüştür (Şekil 11).

Patlayıcı ile yapı arasına bir güvenlik duvarı inşa edildiği varsayımına dayanarak (Şekil 12) yapının 2,5 metre 'de patlama etkilerinin duvar ile söndüldüğü varsayılmış ve 2,5 m üstü için yeni bir patlama analizi yapılmıştır.



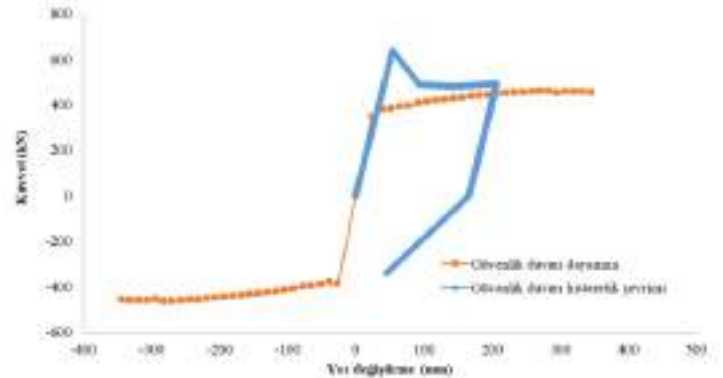
Şekil 12. Güvenlik duvarı tasarımı

Güvenlik duvarına etki edecek patlama fonksiyonu Şekil13'te verilmiştir:



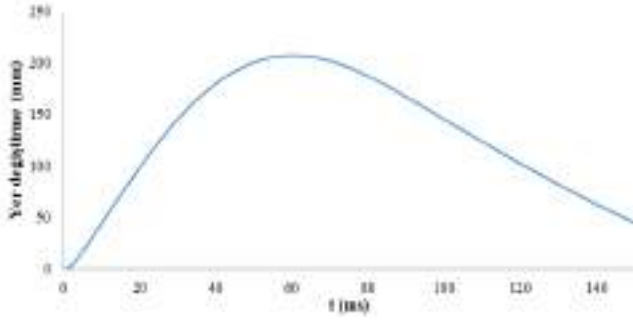
Şekil 13. 5 m mesafede 227 kg TNT patlama basıncı grafiği

Perde duvarlar için C40 beton sınıfı kullanılmıştır. Patlama yükü etkileri altında güvenlik duvarındaki yük-yer değiştirme grafiği Şekil 14'te verilmiştir.

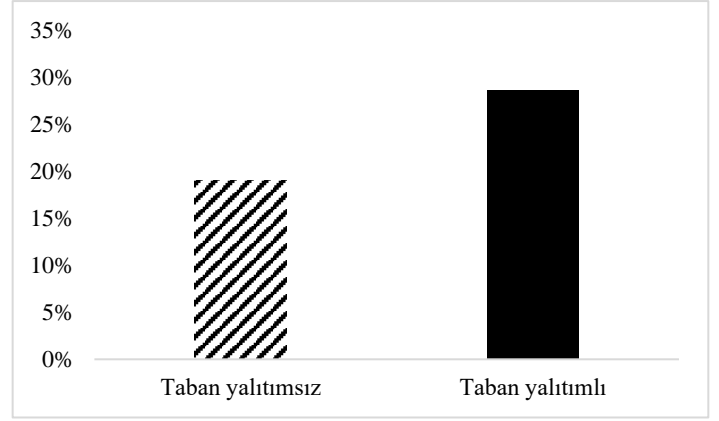


Şekil 14. 5 m mesafede 227 kg TNT etkisi altında güvenlik duvarı histerezis eğrisi

Şekil 15 incelendiğinde perde duvarda meydana gelen maksimum yer değiştirme 200 mm'dir. Şekil 16'da basınç-itki grafiği incelendiğinde perdenin 200 mm yer değiştirmesi için gerekli basınç yaklaşık 10 kPa'dır. 10 kPa'lık basınç etkisi altında 8,2 MPa-ms'lik bir itki kuvvetine maruz kalacaktır (Şekil 16).



Şekil 15. RC-Blast duvar için yer değiştirmeler



Şekil 17. Güvenlik duvarı etkisi

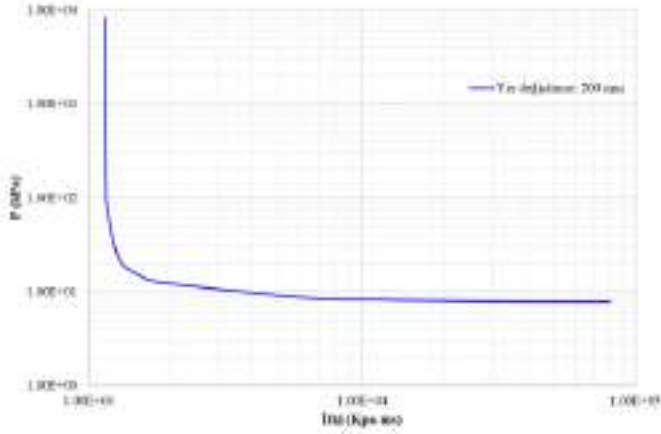
4. Sonuç ve Öneriler

Patlama analizleri sonucunda sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapılar karşılaştırılmıştır.

- Sismik yalıtımlı yapıda kritik noktada bulunan elemanların sismik yalıtımsız yapıya oranla güvenli bölgede kaldığı görülmüştür.
- Basınç-İtki grafiklerinden yararlanılarak birim alana düşecek kuvvet değerlerinin elde edilmesi patlamaya dayanıklı yapı tasarımında ön tasarım aşamalarında eleman hasarları bakımından tahmin yürütülmesinde faydalı olacaktır.
- RC-Blast ve SAP2000 yazılımı analiz sonuçları karşılaştırıldığında iki farklı yöntemde de analiz sonuçlarının örtüştüğü gözlenmiştir.
- Yapının önüne güvenlik duvarı inşa edilmesi fikri geçmişten günümüze kullanılan bir yöntem olmaktadır. Yalıtımlı yapılar üzerinde koruma yüzdesinin arttığı gözlenmiştir.
- RC-Blast yazılımında patlama yükü 90° yayılı yük olarak etki ettirilirken SAP2000 yazılımında açısız olarak etki ettirilmiştir. Analiz sonuçlarındaki farklılıkların bu sebeple olabileceği düşünülmektedir.
- Eleman bazında yapılan hesaplamalarda tek serbestlik dereceli sistem modeli ile yapısal sistem arasında birebir benzerlik oluşmasa da kolon kapasitelerinin oluşturulmasında gösterdiği kolaylık bakımından genel yapısal hasarın belirlenmesinde yardımcı olabilmektedir.

Kaynakça

- Al-Salloum, Y. A., Abbas, H., Almusallam, T. H., Ngo, T., & Mendis, P. (2017). Progressive collapse analysis of a typical RC high-rise tower. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 29(4), 313-320.
- Army, U. S. (1990). Structures to resist the effects of accidental explosions, TM 5-1300. *US Department of the Army Technical Manual, Washington, DC.*
- ASCE. (1985). Design of structures to resist nuclear weapons effects. *ASCE manual 42.*
- Baker W.E., (1973) "Explosions in Air", Univ. of Texas Press, Austin TX USA.
- Draganić, H., & Sigmund, V. (2012). Blast loading on structures. *Technical Gazette*, 19(3), 643-652.



Şekil 16. Duvar için RC-Blast PI (Basınç-İtki) sonuçları

Duvarda meydana gelen dayanım kaybı yaklaşık 50 mm'de meydana geldiğinden duvarın koruma etkisinin yüksek olduğu söylenebilir (Şekil 14). Bu durumda mevcut yapıda 2,5 metre seviyesinde yapı elemanlarının patlamadan etkilenmediği varsayılarak patlama analizi gerçekleştirildiğinde SZ25 kolonunda oluşan kesme kuvveti değerleri güvenlik duvarı oluşturulmadan önceki durumla karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

SZ25	Taban kesme kuvveti (kN)	
	Koruma duvarlı	Koruma duvarsız
Taban yalıtımsız	2054,08	2536,85
Taban yalıtımlı	551,55	773,05

Sismik yalıtımlı yapıda yalıtımsız yapıya oranla güvenlik duvarı etkisi daha fazladır (Şekil 17).

- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2003). FEMA-426: Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks against Buildings.
- FEMA (2007). Risk Management Series, Site and Urban Design for Security Guidance Against Potential Terrorist Attacks, FEMA 430
- FEMA. (2003). Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks. FEMA 427.
- Feng Fu., (2012), Response of a multi-story steel composite building with concentric bracing under consecutive column removal scenarios, *Journal of Constructional Steel Research* 70, 115–126.
- Friedlander, F. G. (1946). The diffraction of sound pulses I. Diffraction by a semi-infinite plane. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 186(1006), 322-344.
- Goel, M. D., & Matsagar, V. A. (2014). Blast-resistant design of structures. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 19(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000188](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000188)
- Greenemeier, L. (2008). Sticky Savior: US Army Readies a New Blast-Protection Adhesive for Deployment.
- Guidebook, E. R. (2016). US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration.
- Hinman E, Engineers PHC (2017) Blast safety of the building envelope. Whole Building Design Guide 2017. Erişim adresi: <https://www.wbdg.org/resources/blast-safety-building-envelope>
- Jacques, E. (2014). RCblast (version. 0.5. 1)[Computer software].
- Kennett, M. N., Letvin, E., Chipley, M., & Ryan, T. (2005). Risk Assessment: A how-to guide to mitigate potential terrorist attacks against buildings. *FEMA Risk Management Series*.
- Kadhun, A. K., & Kadhun, L. K. (2020) Behavior Of Architectural And Structural For Steel Fram Tall Building Subjected To Blast Loads.
- Karlos, V., & Solomos, G. (2013). Calculation of blast loads for application to structural components. *Report EUR*, 26456.
- Karlos, V., Solomos, G., & Larcher, M. (2016). Analysis of the blast wave decay coefficient using the Kingery–Bulmash data. *International Journal of Protective Structures*, 7(3), 409–429. <https://doi.org/10.1177/2041419616659572>
- Kazi, S. N., & Muley, P. V. (2017). Analysis of blast resistant RCC structure. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Kingery, C. N., & Bulmash, G. (1984). Technical report ARBRL-TR-02555: Air blast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical burst. *AD-B082*, 713.
- Liu, Y., Yan, J. B., & Huang, F. L. (2018). Behavior of reinforced concrete beams and columns subjected to blast loading. *Defence Technology*, 14(5), 550-559.
- Mays, G., Smith, P. D., & Smith, P. D. (Eds.). (1995). *Blast effects on buildings: Design of buildings to optimize resistance to blast loading*. Thomas Telford.
- National Research Council. (2002). *Protecting People and Buildings from Terrorism: Technology Transfer for Blast-effects Mitigation*. National Academies Press.
- SAP2000, C. S. I. (2019). V21. Integrated Software for Structural Analysis and Design. *Computer & Structures Inc. Berkeley, California, USA*.
- Saatcioglu, M., & Razvi, S. R. (1992). Strength and ductility of confined concrete. *Journal of Structural engineering*, 118(6), 1590-1607.
- Shobha, R., Vinod, B. R., Prabhu, A. P., Shubhashree, G. R., & Yaksha, V. (2020). Response of Tall Structures Along Face Exposed to Blast Load Applied at Varying Distance. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 9(1), 455–460. <https://doi.org/10.35940/ijrte.a1591.059120>
- Unified Facilities Criteria (UFC). (2008). Structures to resist the effects of accidental explosions. *UHPFRC 3–*, 340-02.
- Url-1<<https://www.straitstimes.com/singapore/ntu-scientists-create-new-material-which-can-strengthen-buildings-and-make-walls-bomb>>
- Wang, W., Zhang, D., Lu, F., Wang, S. C., & Tang, F. (2012). Experimental study on scaling the explosion resistance of a one-way square reinforced concrete slab under a close-in blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 49, 158-164.
- Zhang, R., & Phillips, B. M. (2015). Numerical study on the benefits of base isolation for blast loading. *In 6th international conference on advances in experimental structural engineering, 11th international on advance smart materials and smart structures technology work shop*.



Investigation of the Relationship between the Motor Unit Number Estimate (MUNE) and the Mean Slope of the Stimulus-Response (SR) Curve of the Compound Muscle Action Potential (CMAP) Scan

Imran Göker^{1*}

^{1*} Istanbul Arel University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Biomedical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0000-0000-0000), imrangoker@arel.edu.tr

(First received 20 February 2021 and in final form 28 May 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.803710)

ATIF/REFERENCE: Göker, İ. (2021). Investigation of the Relationship between the Motor Unit Number Estimate (MUNE) and the Mean Slope of the Stimulus-Response (SR) Curve of the Compound Muscle Action Potential (CMAP) Scan. *European Journal of Science and Technology*, (25), 451-456.

Abstract

Objective: The goal of this study is to elicit the relationship between the MUNE and the Mean Slope of the SR Curve of the CMAP Scan. **Introduction:** MUNE is used to diagnose and to monitor the Neuromuscular Disorders. CMAP Scan is a neurophysiological method based on the gradual stimulation of motor neurons and on recording their responses. As a result, a Stimulus-Response (SR) curve is plotted to study the progress of these diseases. In healthy subjects, SR curve is in the sigmoid form. As Motor Unit (MU) loss takes place, higher stimulus intensities are required in CMAP Scan. In addition, the shape of the SR curve becomes different form rather than sigmoid. This affects the slope of the SR curve. Therefore, a new more integrative variable called Mean Slope can be defined which might be correlated with MUNE. **Material and Methods:** Motor neuron groups including 5- to-300 axons were constituted via a simulation software and they were stimulated incrementally with currents from 0 to 99 mA. The voltage differences were computed by using the CMAPs being the responses in the SR curve. The average of all slopes corresponding to each voltage differences was computed to find the Mean Slope. The correlation between MU number the Mean Slope was investigated statistically. **Results and Discussion:** The coefficient of determination and the Pearson correlation coefficient between MU number and the Mean Slope were found as 0.9974 and 0.999 respectively. A linear relationship between MU number and the Mean Slope was suggested. **Conclusion and Recommendation:** The mean slope can be taken into account as a new feature while building mathematical models for the MUNE methods. Besides, new variables in conjunction with the slope of the SR curve might be defined in future studies..

Keywords: Compound Muscle Action Potential (CMAP) Scan; Motor Unit Number Estimate (MUNE); Neuromuscular Diseases; Stimulus-Response Curve; Motor Unit Potential.

Motor Ünite Sayısı Kestirimi (MÜSK) ve Birleşik Kas Aksiyon Potansiyeli (BKAP) Taraması Uyarın-Yanıt (UY) Eğrisinin Ortalama Eğimi arasındaki İlişkinin Araştırılması

Öz

Amaç: Bu çalışmanın amacı Motor Ünite Sayısı Kestirimi (MÜSK) ile Birleşik Kas Aksiyon Potansiyeli (BKAP) Taraması Uyarın-Yanıt (UY) Eğrisinin Ortalama Eğimi arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktır. **Giriş:** Motor Ünite Sayısı Tahmin (MÜSK) nöromusküler hastalıkların tanısını koymak ve bu hastalıkların takibi amaçlı olarak kullanılmaktadır. BKAP Taraması motor nöronların kademeli olarak uyarılması ve bunların yanıtlarının kaydedilmesi esasına dayanan bir nörofizyolojik yöntemdir. Buna bağlı olarak, bu hastalıkların seyri için incelemek üzere bir Uyarın-Yanıt (UY) eğrisi de çizdirilmektedir. Sağlıklı bireylerde, UY eğrisi sigmoid bir eğri şeklindedir. Motor Ünite (MÜ) kaybı meydana geldikçe BKAP taramasında daha yüksek şiddette uyarımlara gerek duyulmaktadır.

* Corresponding Author: imrangoker@arel.edu.tr

Ayrıca, UY eğrisinin şekli sigmoidden ziyade farklı bir şekle dönüşmektedir. Bu durumlar UY eğrisinin eğimini de etkilemektedir. Bu nedenle, MÜSK ile ilişkili olabilecek Ortalama Eğim olarak adlandırılabilir daha bütüncül yeni bir değişken tanımlanabilir. Yöntem ve Gereçler: Bir simülasyon yazılımı ile, 5 ila 300 akson içeren motor nöron grupları oluşturuldu. Bu motor nöronlar kademeli olarak 0'dan 99 mA'e kadar giderek artan şiddette uyarıldılar. UY eğrisindeki yanıtlar olan BKAP değerlerinden faydalanılarak voltaj farkları hesaplandı. Her bir voltaj farkına karşılık gelen eğimlerin ortalama değerleri Ortalama Eğim değerini bulmak üzere hesaplandı. MÜ sayısı ile Ortalama Eğim arasında bir ilişki olup olmadığı istatistiksel olarak araştırıldı. Bulgular ve Tartışma: MÜ sayısı ile Ortalama Eğim arasındaki belirleme katsayısı ve Ortalama Eğim sırasıyla 0,9974 ve 0,999 olarak bulundu. Buna bağlı olarak, MÜ sayısı ile Ortalama Eğim arasında doğrusal bir ilişki olabileceği düşünüldü. Sonuç: Ortalama Eğim, MÜSE yöntemleri için matematik modeller oluşturulurken yeni bir öznelik olarak göz önünde bulundurulabilir. Bunun yanı sıra, gelecek çalışmalarda, UY eğrisinin eğimi ile bağlantılı olabilecek yeni parametreler de tanımlanabilir..

Anahtar Kelimeler: Birleşik Kas Aksiyon Potansiyeli (BKAP) Taraması, Motor Ünite Sayısı Kestirimi (MÜSK), Nöromusküler Hastalıklar, Uyarı-Yanıt Eğrisi, Motor Ünite Potansiyeli.

1. Introduction

Motor Unit Number Estimate (MUNE) is a quantitative method being developed to determine the number of axons approximately as much as possible. This method which is related the electrophysiological evaluation of the number axons innervating a muscle or a muscle group and representing the motor units (MU) in these muscles is utilized to monitor the neuromuscular diseases and to assess MU losses (Daube, 1995). In this method, the stimulus intensity applied to a motor nerve is gradually increased above a threshold value and the responses to these stimuli are recorded (McCommas, 1995; McCommas et al., 1971)..

One of the electrophysiological method utilized in diagnosing Neuromuscular Disorders is the Compound Muscle Action Potential (CMAP) Scan. It is practiced by recording the responses of incrementally stimulated motor neuron (Henderson et al., 2006). These responses are graphically represented by the stimulus-response (SR) curve (Henderson et al., 2006; Maathuis et al., 2011). Some studies that utilized CMAP Scan for estimating Motor Unit Number have been previously conducted (Bostock, 2016).

For healthy individuals, SR curve is represented in sigmoid form as in Figure 1. The purpose of this study is to investigate the relationship between the Motor Unit Number Estimate (MUNE) and the Mean Slope of the SR Curve of the CMAP Scan being the average of the successive incremental slopes. The slope of the linear portion of the SR curve depends on the axonal excitability of the MUs. As the number of the excited MUs which contribute also to CMAP Scan increases with the increasing stimulus intensities, the slope becomes steeper. On the other hand, as the MU loss occurs, this slope reduces becoming less steep (Araújo et al. 2015). In case of severe MU loss, the sigmoid form of the SR curve changes as shown in Figure 2. Therefore, the slope of the SR curve is less significant and a more integrative measure is required to estimate the number of MU being able to be recruited with the increasing stimulus intensities. The average value of the incremental slopes computed via the successive voltage differences and the stimulus intensities might be considered as indicator for MUNE. Moreover, negative incremental slopes and those with zero values emerging from the alternations might be taken into account.

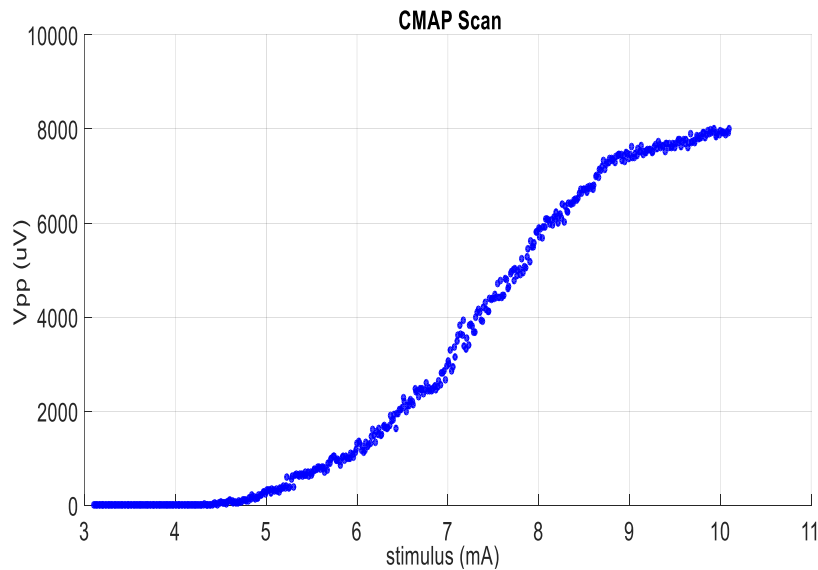


Figure 1. The CMAP Scan (SR curve) of a healthy individual

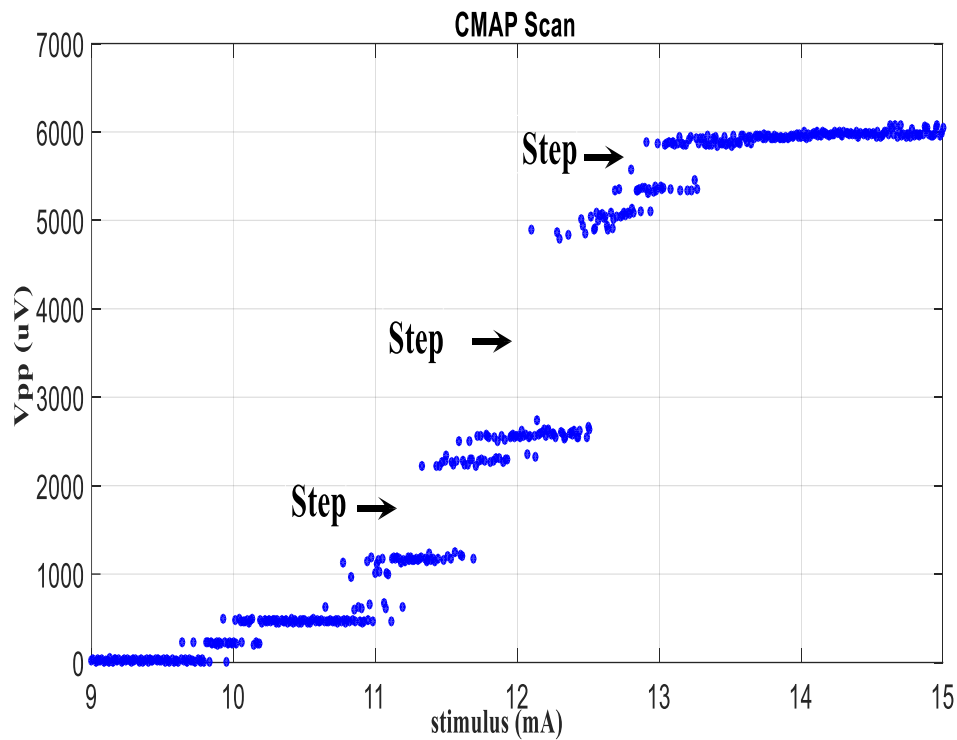


Figure 2. The CMAP Scan (SR curve) for a case with Anterior-Horn Disease (Steps are demonstrated with arrows)

2. Material and Method

2.1. Building Data Sets

Data sets were built by means of a simulator software ((Motor Nerve Conduction Studies (MNCS) Neurography Simulator version 2.4, Keypoint Club, Uppsala, Sweden).

Motor neuron groups containing axons in various numbers ranging from 5 to 300 were constituted via the simulator.

Each of these groups were stimulated by 0- to 99-mA currents from the distal positions of with 1-mA increments. Five distinct cases were built for each group.

The interface of the simulator is demonstrated in Figure 3. It enables the user to monitor the waveforms of CMAP traces. These were recorded in ".txt" format via "export" menu of the simulator into a folder in the root directory to be processed by MATLAB Code built for data analysis.

2.2. Computation of Mean Slope

CMAPs are the peak-to-peak voltages V_{pp} of the waveforms of CMAP traces. They represent the responses to stimuli on the vertical axis of SR-curve. In determining the incremental slopes, initially, the voltage differences ΔV_{pp} and the differences of successive stimuli ΔS should be calculated as follows;

$$\Delta V_{pp}(i) = V_{pp}(i) - V_{pp}(i - 1) \quad (1)$$

$$\Delta S(i) = S(i) - S(i - 1) \quad (2)$$

In equation (1) and (2), i is the index of the corresponding stimulus.

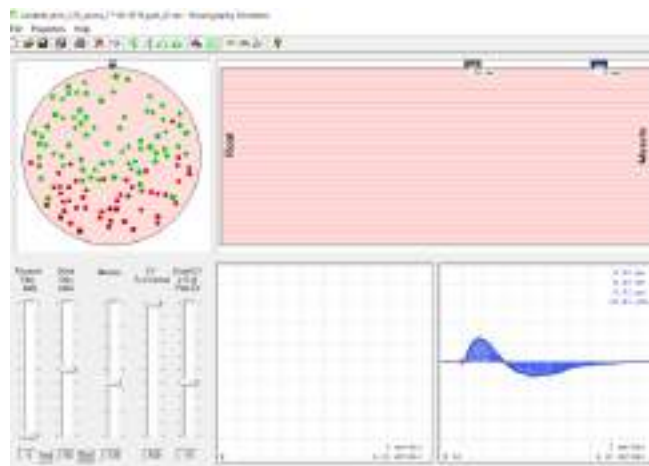


Figure 3. The CMAP responses generated by the incremental stimulation of the Motor Neuron in the Simulator.

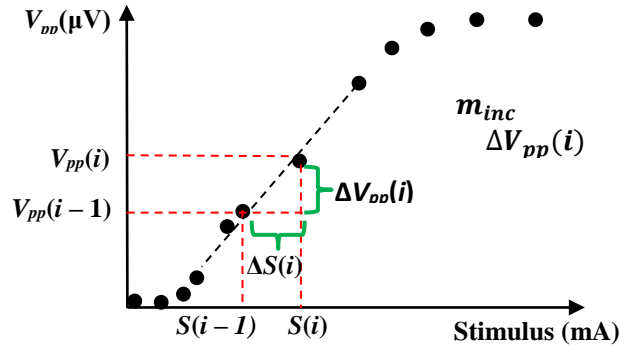


Figure 4. Representation of the incremental slope m_{inc} in a CMAP Scan

The incremental slope m_{inc} being shown in Figure 4, may be calculated as follows;

$$m_{inc}(i) = \frac{\Delta V_{pp}(i)}{\Delta S(i)} \quad (3)$$

Total slope which is the sum of the incremental slopes is given as follows;

$$m_{total} = \sum_{i=1}^N m_{inc}(i) \quad (4)$$

The mean slope can be computed as follows;

$$\bar{m} = \frac{m_{total}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N m_{inc}(i)}{N} \quad (5)$$

where N is the responses.

2.3. Program Codes for Computations

A MATLAB® (Version R2015a)(Mathworks, USA) Code was established to use the exported CMAP data from the simulation software in “.txt” format. The peak-to-peak voltages for each CMAP trace and the voltage differences between these consecutive peak-to-peak values and the differences of consecutive stimulus intensities were calculated through this code. The calculation of the increment means, the total mean and the mean slopes was also accomplished via this code. The flow-chart of the program codes are shown in Figure 5.

2.4. Statistical Analysis of the Data

The relationship between the Number of MUs and the Mean Slope was investigated by computing the correlation coefficient. SPSS Software Package (IBM® SPSS Statistics® v.22.0, SPSS, Inc., Chicago, IL) was utilized for this statistical analysis.

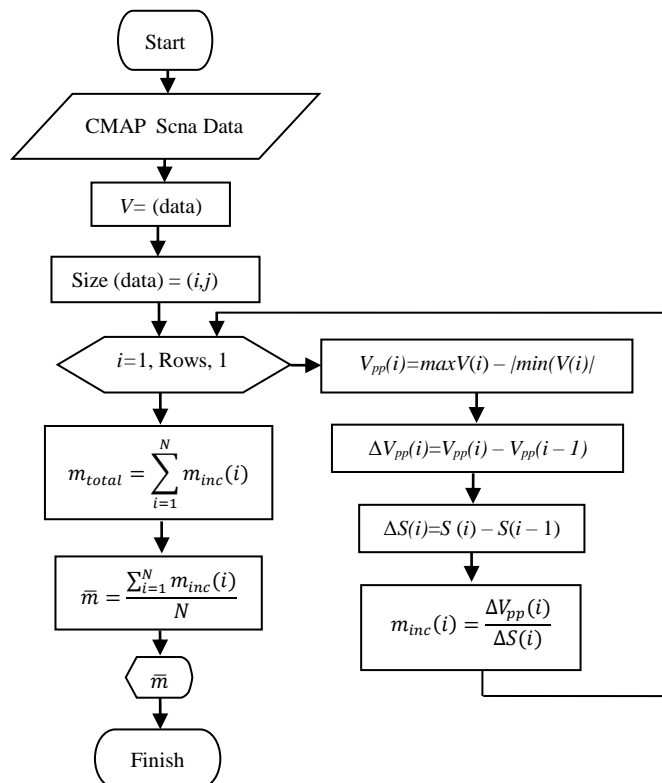


Figure 5. The Flow-Chart of the Program Code for computations

Table 1. Mean Slopes and Numbers of Axons

Number of Simulated Axons (n_{axon})	Mean Slope (\bar{m}) (Mean \pm SD)
5	0.0086 \pm 0.0037
10	0.0140 \pm 0.0025
15	0.0209 \pm 0.0042
20	0.0271 \pm 0.0035
25	0.0354 \pm 0.0025
30	0.0452 \pm 0.0089
35	0.0503 \pm 0.0067
40	0.0566 \pm 0.0040
45	0.0688 \pm 0.0078
50	0.0710 \pm 0.0090
55	0.0773 \pm 0.0051
60	0.0811 \pm 0.0088
65	0.0895 \pm 0.0119
70	0.1026 \pm 0.0123
75	0.1096 \pm 0.0059
80	0.1122 \pm 0.0030
85	0.1235 \pm 0.0129
90	0.1291 \pm 0.0125
95	0.1536 \pm 0.0244
100	0.1514 \pm 0.0110
105	0.1512 \pm 0.0091
110	0.1595 \pm 0.0146
115	0.1637 \pm 0.0059
120	0.1625 \pm 0.0072
125	0.1780 \pm 0.0011
130	0.1849 \pm 0.0000
135	0.1880 \pm 0.0000
140	0.1921 \pm 0.0000
145	0.2066 \pm 0.0081
150	0.1846 \pm 0.0000
155	0.2190 \pm 0.0168
160	0.2373 \pm 0.0123
165	0.2320 \pm 0.0082
170	0.2435 \pm 0.0276
175	0.2541 \pm 0.0098
180	0.2594 \pm 0.0071
185	0.2561 \pm 0.0157
190	0.2803 \pm 0.0075
195	0.2806 \pm 0.0163
200	0.2795 \pm 0.0162
205	0.2972 \pm 0.0263
210	0.2991 \pm 0.0147
215	0.3098 \pm 0.0142
220	0.3255 \pm 0.0134
225	0.3269 \pm 0.0172
230	0.3239 \pm 0.0098
235	0.3471 \pm 0.0190
240	0.3483 \pm 0.0188
245	0.3498 \pm 0.0231
250	0.3596 \pm 0.0186
255	0.3706 \pm 0.0212
260	0.3777 \pm 0.0111
265	0.3850 \pm 0.0070
270	0.3977 \pm 0.0117
275	0.3970 \pm 0.0188
280	0.3928 \pm 0.0227
285	0.4137 \pm 0.0153
290	0.4205 \pm 0.0158
295	0.4220 \pm 0.0106
300	0.4326 \pm 0.0215

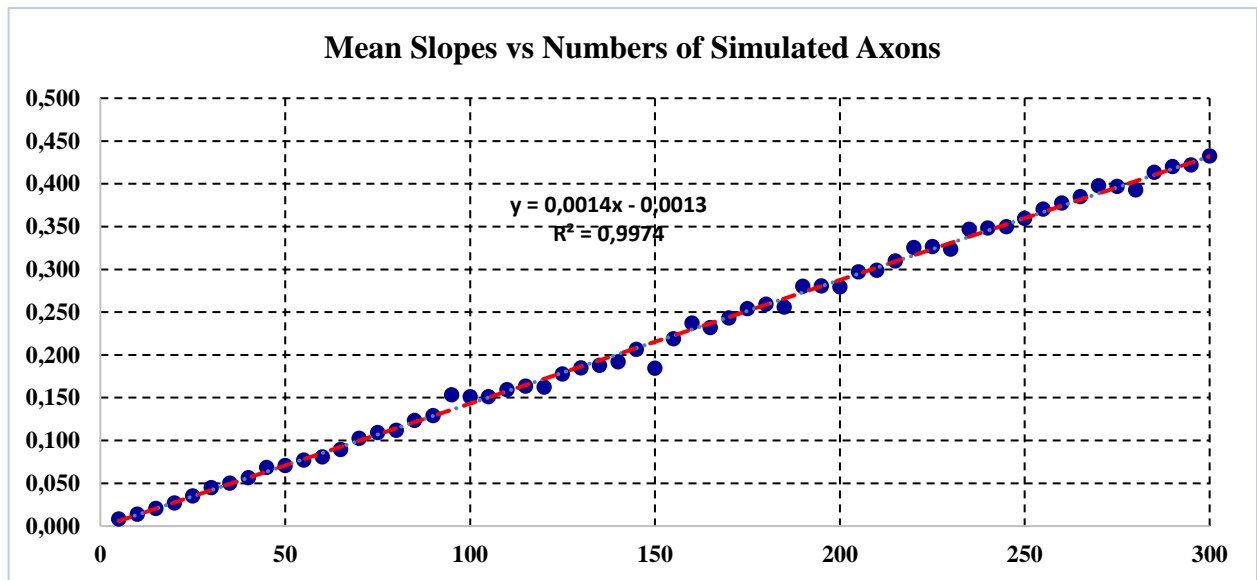


Figure 6. The plot of mean slope vs number of axons.

3. Results and Discussion

The mean slope values calculated from the CMAP Scan data being generated in the simulation software are presented in terms of number of axons in Table 1.

In addition, the plot of mean slope vs the number of axons is shown in Figure 6.

In Figure 6, it is observed that the majority of the data are accumulated nearby a regression line. Furthermore, the Coefficient of Determination was found as 0.9974 ($R^2=0.9974$).

When the relationship between the Number of Axons and the Mean Slope was analyzed statistically, the Pearson Correlation Coefficient was found as 0.999 ($\rho=0.999$).

When the data presented in Figure 6 are tackled, the linear relationship can be observed in by inspection. This relationship can be also indicated via the Coefficient of Determination ($R^2=0.9974$). This is supported also via Pearson Correlation Coefficient ($\rho=0.999$).

4. Conclusions and Recommendations

In conclusion, the mean slope can be taken into account while building mathematical models for the MUNE methods. Moreover, some other new variables in conjunction with the slope of the SR curve might be defined in future studies in order to build more accurate mathematical models for the computation of MUNE.

5. Acknowledgment

I would like to present my gratitude to my deceased spouse Iryna NAUMCHIK GÖKER who had been always supporting me especially during this study.

References

Araújo T., Candeias R., Nunes N., & Gamboa H. (2015) Evaluation of Motor Neuron Excitability by CMAP Scanning with Electric Modulated Current *Neuroscience Journal*, 2015, 5 pages, epub 2015.

Bostock, H. (2016) Estimating motor unit numbers from a CMAP scan *Muscle and Nerve*, 53(6), 889-896.

Daube, J. R (1995) Estimating the number of motor units in a muscle *Journal of Clinical Neurophysiology* 12(6), 585-594.

Henderson, R. D., Ridall G. R., Pettitt, A. N., McCombe, P. A., & Daube, J. R. (2006) The Stimulus-Response Curve and Motor Unit Variability in Normal Subjects And Subjects with Amyotrophic Lateral Sclerosis *Muscle and Nerve*, 34 (1), 34-43.

Maathuis, E. M., Drenthen, J., Visser, G. H., & Blok, J. H. (2011) Reproducibility of the CMAP scan *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(3), 433-437.

McCommas, A. J. (1995) Motor Unit Estimation: Anxieties and Achievements *Muscle and Nerve* 18 (4), 369-379.

McComas J., Fawcett P. R. W., Campbell, M. J., & Sica, R. E. P. (1971) Electrophysiological estimation of the number of motor units within a human muscle *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 34 (2), 21-131.



The Analysis of Climate Change Awareness at Local Level

Burçin Atılğan Türkmen^{1*}

^{1*} Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Bilecik, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3220-3817),
burcin.atilganturkmen@bilecik.edu.tr

(First received 4 March 2021 and in final form 26 June 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.890865)

ATIF/REFERENCE: Atılğan Turkmen, B., (2021). The Analysis of Climate Change Awareness at Local Level. *European Journal of Science and Technology*, (25), 457-462.

Abstract

Climate change is one of the biggest problems facing the world today due to its negative effects on human health and ecosystems. It is important to evaluate society's awareness of climate change to avoid this problem. Understanding the drivers of climate change attitudes is critical, as an action to address climate change is dependent on public awareness. Therefore, this research was carried out to identify the level of awareness and knowledge of climate change of residents in the province of Bilecik. In order to collect data, a questionnaire consisting of 11 questions was applied to randomly selected 508 people. Statistical approaches have been used to test the data collected from questionnaires. According to the results of the research, of the respondents 96% stated that they believe that climate change is occurring, 89% stated that climate change is occurring in Bilecik, of the respondents 87% believe that climate change is threatening. The majority of respondents (83%) believe that increasing the number of vehicles is the primary cause of climate change, while changes in climate types (89%) are the most visible effect of climate change. The results revealed that the issue of climate change was acknowledged at the local level, that there would be a tendency to change the lifestyle of the situation, and that they wanted to get more education on the subject.

Keywords: Awareness, Climate change, Bilecik, Public perception, Adaptation.

İklim Değişikliği Bilincinin Yerel Düzeyde Analizi

Öz

İklim değişikliği, insan sağlığı ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle bugün dünyanın karşılaştığı en büyük sorunlardan biridir. Bu sorunu önlemek için toplumun iklim değişikliği konusundaki farkındalığını değerlendirmek önemlidir. İklim değişikliği eylemi halkın bilincine bağlı olduğundan, iklim değişikliğinin itici güçlerini anlamak çok önemlidir. Bu nedenle, bu araştırma Bilecik ilinde ikamet edenlerin iklim değişikliği konusundaki farkındalık ve bilgi düzeylerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Veri toplamak için rastgele seçilen 508 kişiye 11 sorudan oluşan bir anket uygulanmıştır. Anketlerden toplanan verileri test etmek için istatistiksel yaklaşımlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ankete katılanların %96'sı iklim değişikliğinin meydana geldiğine, %89'u Bilecik'te iklim değişikliğinin meydana geldiğine, %87'si iklim değişikliğinin tehdit edici olduğuna inandığını belirtmiştir. Ankete katılanların çoğunluğu (%83) araç sayısındaki artışın iklim değişikliğinin temel nedeni olduğunu, iklim tiplerindeki değişikliklerin (%89) iklim değişikliğinin en belirgin etkisi olduğu sonucu elde edilmiştir. Sonuçlar, iklim değişikliği konusunun yerel düzeyde kabul edildiğini, ankete katılanların yaşam tarzını değiştirme eğiliminde olduğunu ve konuyla ilgili daha fazla eğitim almak istediklerini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Bilinç, İklim değişikliği, Bilecik, Kamuoyu algısı, Uyum.

* Corresponding Author: burcin.atilganturkmen@bilecik.edu.tr

1. Introduction

Climate change is one of the 21st century's greatest challenges. It is defined by United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) as describes a change in climate that is due directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere, in addition to normal climate variations observed over comparable periods (UNFCCC, 1992).

The climate of the earth has been continuously changing over time, with wide differences in global average temperatures. However, this current warming period is happening more dramatically than any previous event (Allen, 2018). UNFCCC reveals that the observed increases in greenhouse gas emissions because of human activities are the major cause of global climate change. After the industrial revolution, humans have released greenhouse gasses into the atmosphere, altering the atmospheric balance of the earth. These gasses continue to accumulate in the atmosphere and the ocean today. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), an increase of 1.5°C in global average temperature is a limit beyond which climate change will have devastating consequences (UN, 2020).

Climate change is a global problem that in various ways impacts countries. In several countries, the impacts of climate change have already reached many of the major sectors of production and development (Glasgow et al., 2018). The Mediterranean Basin, including Turkey, is one of the most sensitive regions of the earth to global climate change. The effects of the 2°C increase in temperature, unexpected weather events, heat waves, increase in the number and impact of forest fires, drought and, consequently, loss of biodiversity, decrease in tourism revenues, loss of agricultural yield, and, most importantly, drought will be felt (Cramer W, 2018).

Climate change is one of humanity's most important challenges which seriously threatens our future unless action is taken today. For this reason, immediate global, regional and local action needs to be taken and collaboration should be improved in the fight against climate change (MoEU, 2018). In order to reduce greenhouse gasses emitted into the atmosphere, both individuals and countries have important responsibilities. The levels of climate change understanding, awareness, perceived risk, and support for mitigation or adaptation differ widely around the world (Lee et al., 2015). The key measure to be taken is to change the lifestyles and consumption patterns of societies. For individual habits to change, this issue needs to be more sensitive and more conscious. Awareness of climate change can be described as potential concerns about threats from climate change to human society and the natural environment. Knowledge of climate change is essential for implementing successful initiatives to mitigate the risks of climate change (Kim & Hall, 2019; Marshall et al., 2013).

The objective of Turkey is to reduce the impact of climate change and to respond to global warming. The level of public awareness and institutional capacity must be considered when adapting to climate change in the country. Education, public awareness-raising studies, and international cooperation on climate change began when Turkey became a party UNFCCC in 2004 and accelerated following the publication of the country's First National Communication on Climate Change in 2007 (MoEU, 2012). Climate Change National Action Plan (2011-2023) released in July 2011 on the implementation of the Climate

Change National Strategy Document includes measures to coordinate institutional capacity building and awareness-raising programs to combat and adapt (MoEU, 2018). Science and policy debates on climate change should be rooted in an increased understanding of public awareness (Dal et al., 2015). A basic understanding of public knowledge of climate change will provide strategic guidance for government policy, adaptation and mitigation plans, and community-based guidance (Kabir et al., 2016).

This study aims to determine the perception and awareness level of residents' understanding, knowledge, and concern of climate change. Bilecik province in Turkey was chosen as the study area. Appropriate statistical techniques have been used to gather and analyze relevant information using the questionnaire approach.

2. Material and Method

2.1. Study Area

Climate change, both nationally and globally, has been one of the most debated environmental issues. This paper was therefore conducted to identify the current level of awareness and knowledge of climate change of residents in the province of Bilecik.

Bilecik is positioned in four regions – Marmara, Black Sea, Aegean, and Central Anatolian regions. It has an area of 4,307 km², and a population of 219,427 people as of 2019 (TURKSTAT, 2020). The province is located between 39°39' and 40°31' latitudes to the north and 29°43' and 30°40' longitudes to the east. Bilecik is an alternate city at the point where the Marmara area is linked to Anatolia. As presented in Figure 1, it is bordered by the provinces of Eskisehir and Bolu to the east, Kütahya to the south, Bursa to the west, and Sakarya to the north. Agriculture and animal husbandry, mining, forestry, marble, ceramics, and board processing have a significant part of the province's economy. The rich marble quarries in Bilecik have made a significant contribution to the economy of the city (BEBKA, 2018).



Figure 1: Location of the study area (BEBKA, 2018)

Bilecik is expected to grow in the future and the surrounding forest and agricultural land are expected to decrease due to

transport and industrial investment. In this process, in addition to industry, greenhouse gas emissions from construction will increase as a consequence of the loss of natural areas and the intensification of urbanization (Governorate of Bilecik, 2020).

2.2. Data

The data used in this study is primary data collected by a survey of 508 people in the province of Bilecik, Turkey. The survey was carried out in 2018. A face-to-face interview with the respondents was conducted, where they were chosen through random stratified sampling. The purpose of the survey and when needed the words used in the survey have been clarified to the respondents and kept confidential.

3. Results and Discussion

A total of 508 randomly selected survey respondents were interviewed face to face in the survey to assess the current level of awareness of climate change in the province of Bilecik. Statistical approaches have been used to test the data collected from questionnaires. The statistical analysis was performed using SPSS Statistics Base 22.0 package program.

As shown in Table 1, 262 survey respondents (nearly 51.6% more than half of those surveyed) were female and showed a slight gender balance.

Table 1: Gender Distribution of Respondents

Gender	Respondents	Percentage (%)
Female	262	51.57
Male	246	48.43
Total	508	100.00

Respondents belonged to various age groups (11-69). The average age of respondents was 36.2, with a median of 36. A majority of the respondents are middle-aged. As shown in Table 2, around 47.8% of the respondents are between 30 and 39 years old followed by respondents of 40-49 years old whose percentage is nearly 39.8%.

Table 2: Age of Respondents

Age	Respondents	Percentage (%)
11-19	5	0.98
20-29	21	4.13
30-39	243	47.83
40-49	202	39.76
50-59	33	6.50
60-69	4	0.79
Total	508	100.00

Respondents showed a diversity of job sectors, details are reported in Table 3. It is worth noting that around 34.5% of the respondents work in government jobs and this represents the highest percentage. Almost 21.3% of respondents work private-sector jobs.

Table 3: Job Sector of Respondents

Job Sector	Respondents	Percentage (%)
Public	175	34.45
Private	108	21.26
Self-employment	93	18.31
Others*	132	25.98
Total	508	100.00

*Housewives, students, retirements and unemployed people

In this study, all the districts in Bilecik were selected. The numbers of respondents by the district are shown in Table 4. Around 40.7% of the respondents live in Central Bilecik followed by respondents from Bozüyük whose percentage is around 35.0%.

Table 4: District of Respondents

Job	Respondents	Percentage (%)
Central Bilecik	207	40.75
Bozüyük	178	35.04
Gölpazarı	61	12.01
Söğüt	28	5.51
Osmaneli	16	3.15
Pazaryeri	12	2.36
Yenipazar	4	0.79
İnhisar	2	0.39
Total	508	100.00

According to the answers received for the question "Do you think that climate change is happening?" asked in the survey questionnaire, as presented in

Figure 2, around 96% of respondents (233 male and 256 female) were confident that climate change is occurring. Almost 2.4% chose one of the "no" and nearly 1.4% of respondents chose "I don't know".

The result indicated that 88.8% of the people who were interviewed within the survey think that they thought climate change is also occurring in Bilecik,

Figure 2. There was also a lower proportion of people (around 4.7%) who believe that climate change is not happening in the city. In Bozüyük, Pazaryeri, Yenipazar and İnhisar over 90% respondents said climate change is occurring.

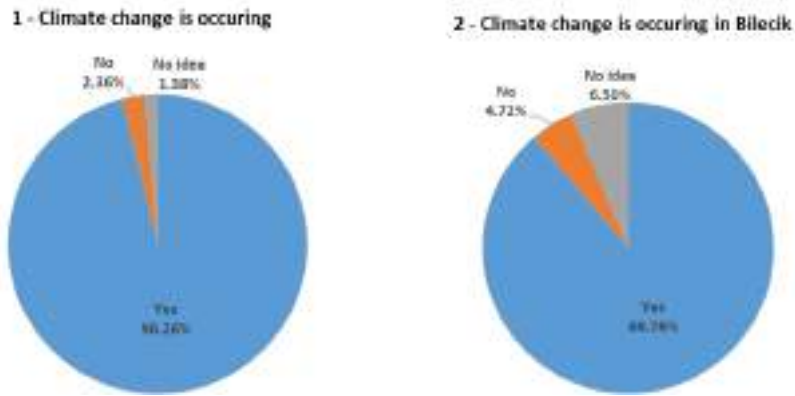


Figure 2: Climate change awareness

According to the answers given to the question concerning the causes of climate change, the increasing number of motor vehicles is at the top of the list (83.3%), see

Figure 3. The rapid development of the industry and the destruction of forest and agricultural lands are on the second rank (81.1%). Growth of the population ranks as the last (64.6%) after fossil fuel use for heat and electricity (68.1%).

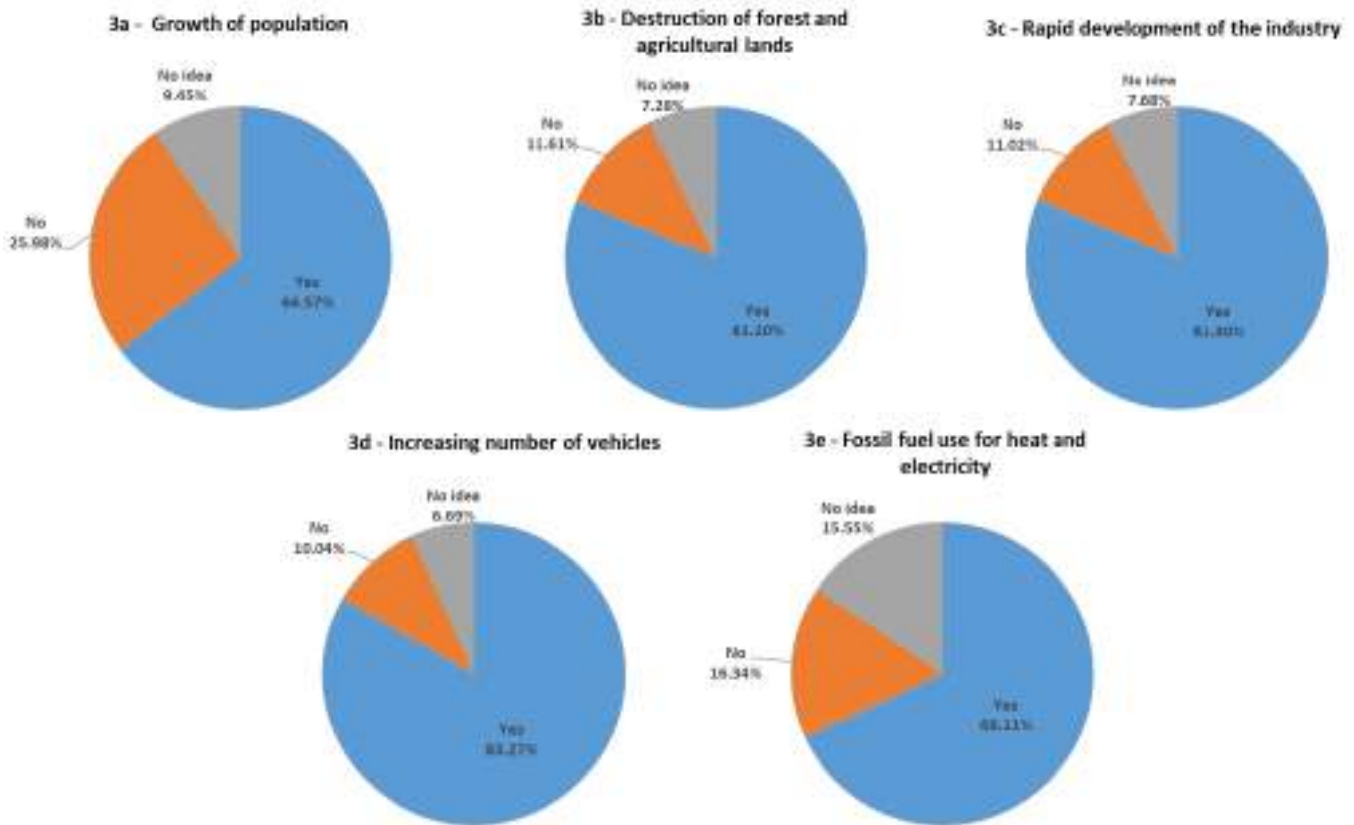


Figure 3: Causes of climate change

According to the answers given for "the effects of climate change", change in climate types (almost 89%) is the most visible

effect of climate change. The increase in fruit and vegetable prices is at the bottom of the list (76.6%).

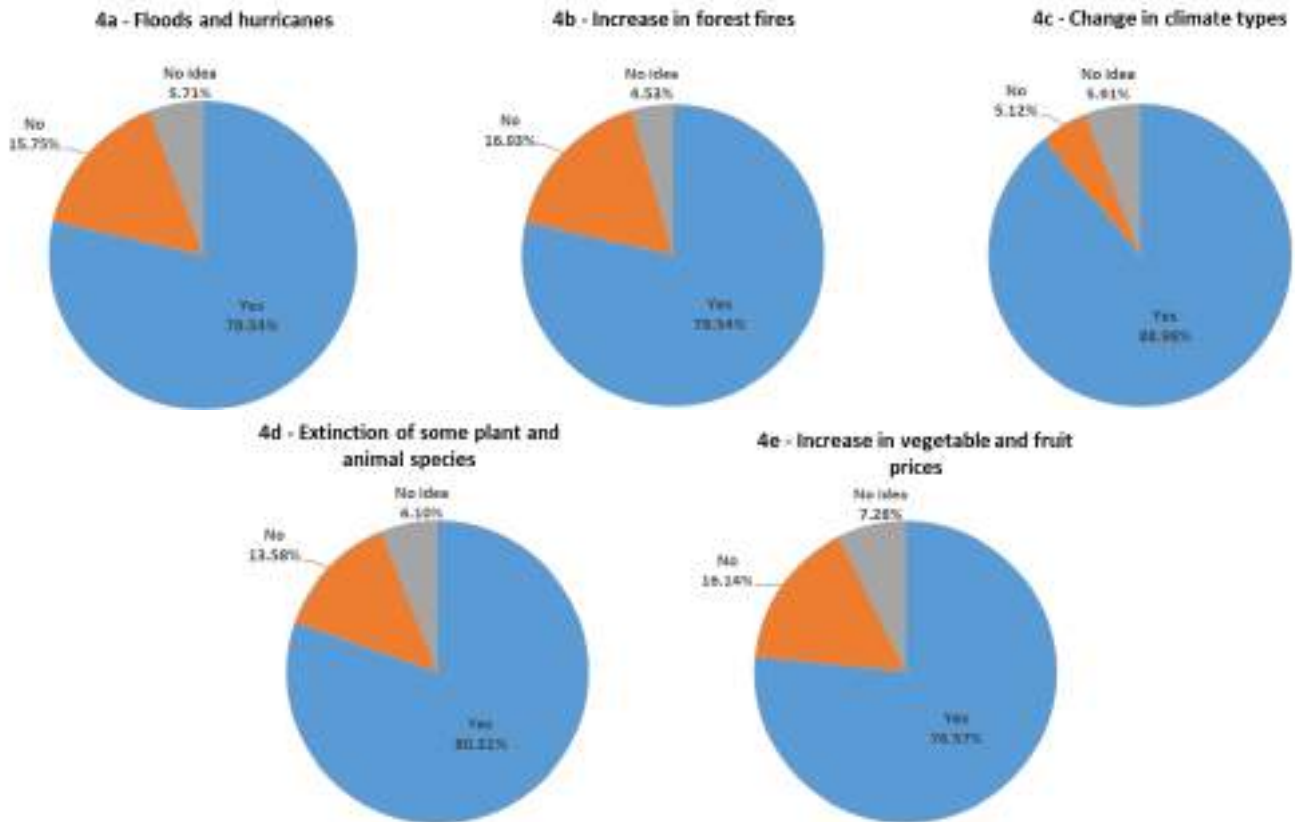


Figure 4: Effects of climate change

As shown in Figure 5, around 87.4% of the people participating in the survey think that the climate change problem is worrying and threatening while almost 9% of all respondents

did not think global climate change was a threat. Among the respondents, women (89%) are generally more worried than men (85%).

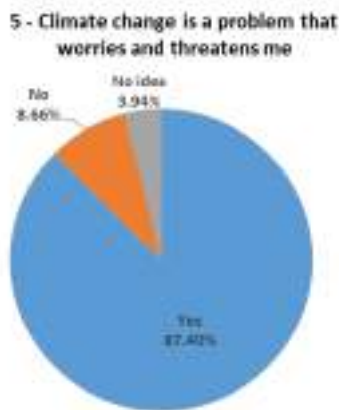


Figure 5: Concern about climate change

In the present survey, nearly 30% of respondents believe that they act individually against climate change, while around 48.4% feel that they are not doing enough to tackle climate change, see

Figure 6. Almost 22% of the people interviewed in the survey are unable to provide an opinion on whether or not they are doing enough. 53% of men think that they are not doing enough while 44% of women feel they are not acting against climate change.

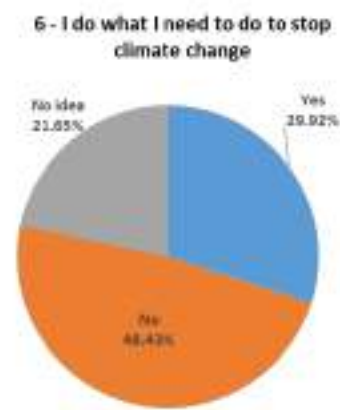


Figure 6: Attitude towards climate change

The survey revealed that there is a need for education on climate change in Bilecik. As presented in Figure 7, around 79.5% of respondents (77% of male, 82% of female) think that education on climate change needs to be given to them.

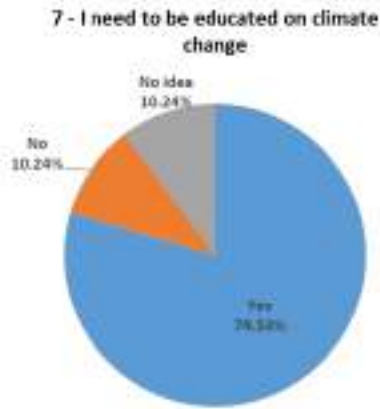


Figure 7: Need for climate change education

4. Conclusions and Recommendations

Climate change is one of the major challenges of our time due to its negative effects on human health and ecosystems. The solution to the issue of climate change would need knowledge and comprehension of climate change. In order to accelerate awareness of climate change, it is necessary to understand the level of awareness of people, a problem that is a vital component of long-term policy and planning. Therefore, the objective of this research is to understand public perception and behavior towards climate change.

The data used in this study were generated through a questionnaire survey. A total of 508 (246 males and 262 females) people lives in Bilecik were interviewed. The majority of the respondents were between the ages of 30 to 49 (nearly 88%). The results of the survey were evaluated, and the opinions of the respondents were determined.

According to research findings, 96% of respondents said that they believe that climate change is occurring, 89% state that climate change is occurring in Bilecik, and 87% of respondents believe that climate change is threatening. The majority of respondents (83%) believe that increasing the number of vehicles is the primary cause of climate change, while climate change (89%) is the most obvious cause. Results have shown that at least 87 of every 100 people in Bilecik are concerned about climate change. Women were more worried about climate change than men.

According to the results, it was observed that the problem of climate change was accepted at the local level and the concern on climate change is high and they wanted to get more education on this subject.

Given that climate change is a major threat, it is helpful to determine the level of knowledge and awareness at the local level, in particular on the causes, effects, how to address the issue, and adaptation. The results of the paper would help to better design and communicate future climate change-related activities. Education is the first line of defense to spread awareness and begin to impact people's behavior and attitudes towards climate change. Raising awareness of climate change at the local level is important as the impacts of climate change exacerbate the frequency and extent of disasters.

5. Acknowledge

This work was supported by the European Union through the "Better Futures with Enhanced Capacity and Awareness on Climate Change" Project [TR2013/0327.05.01-02/113] as part of e-ISSN: 2148-2683

the "Capacity Building in the Field of Climate Change in Turkey Grant Scheme."

References

- Allen, M. R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld. (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Geneva, Switzerland.
- BEBKA. (2018). *Bilecik İli Mekansal Strateji Planı Raporu*. Retrieved 01.03.2021 from https://www.bebka.org.tr/admin/datas/yayins/213/bilecik-ili-mekansal-strateji-plani-raporu_1571052398.pdf
- Cramer W, G. J., Fader M, Garrabou J, Gattuso J-P, Iglesias A, Lange MA, Lionello P, Lla-sat MC, Paz S, Peñuelas J, Snoussi M, Toreti A, Tsimplis MN, Xoplaki E. (2018). Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. *Nature Climate Change* 8, 972-980, <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Dal, B., Öztürk, N., Alper, U., Sonmez, D., & Çökelez, A. (2015). An Analysis of the Teachers' Climate Change Awareness. *Athens Journal of Education*, 2, 111-122. <https://doi.org/10.30958/aje.2-2-2>
- Glasgow, L., Langaigne, B., Thomas, C., Harvey, O., & Campbell, E. (2018). Public Knowledge and Attitudes towards Climate Change and Its Impacts on Ecosystems in Grenada. *American Journal of Climate Change*, 07, 600-610. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2018.74037>
- Governorate of Bilecik. (2020). *Bilecik*. Retrieved 12.11.2020 from <http://www.bilecik.gov.tr/>
- Kabir, M. I., Rahman, M. B., Smith, W., Lusha, M. A. F., Azim, S., & Milton, A. H. (2016). Knowledge and perception about climate change and human health: findings from a baseline survey among vulnerable communities in Bangladesh. *BMC Public Health*, 16(1), 266. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-2930-3>
- Kim, M. J., & Hall, C. (2019). Can Climate Change Awareness Predict Pro-Environmental Practices in Restaurants? Comparing High and Low Dining Expenditure. *Sustainability*, 11, 6777. <https://doi.org/10.3390/su11236777>
- Lee, T. M., Markowitz, E. M., Howe, P. D., Ko, C.-Y., & Leiserowitz, A. (2015). Predictors of public climate change awareness and risk perception around the world. *Nature Climate Change*, 5(11), 1014-1020. <https://doi.org/10.1038/nclimate2728>
- Marshall, N. A., Park, S., Howden, S. M., Dowd, A. B., & Jakku, E. S. (2013). Climate change awareness is associated with enhanced adaptive capacity. *Agricultural Systems*, 117, 30-34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.01.003>
- MoEU. (2012). *Are We Aware of Climate Change? Publication of the Preparing Turkey's 2nd National Communication on Climate Change Project*. T.R. Ministry of Environment and Urbanization General Directorate of Environmental Management, Department of Climate Change. Ankara, Turkey.
- MoEU. (2018). *7th National Communication of Turkey, Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate of Environmental Management, Department of Climate Change*. Ankara, Turkey.
- TURKSTAT. (2020). *Provinces of Turkey by population*. Retrieved 15.11.2020 from <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=2>
- UN. (2020). *United Nations Climate Change Annual Report 2019*. United Nations, Climate Change. Bonn, Germany.
- UNFCCC. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Retrieved 12.11.2020 from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>



Network Intrusion Detection using Optimized Machine Learning Algorithms

Tahira Khorram^{1*}, Nurdan Akhan Baykan²

^{1*} Astra Global Corporation, 6301 zug, Switzerland, (ORCID: 0000-0001-8736-5085), tahira-k@astra-bank-bvi.com

² Konya Technical University, Department of Computer Engineering, 42130, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4289-8889), nbaykan@ktun.edu.tr

(First received 29 December 2020 and in final form 26 June 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.849723)

ATIF/REFERENCE: Khorram, T. & Akhan Baykan, N. (2021). Network Intrusion Detection using Optimized Machine Learning Algorithms. *European Journal of Science and Technology*, (25), 463-474.

Abstract

Network intrusion detection mechanism is a primary requirement in the current fast-growing network systems. Data mining and machine learning approaches are widely used for network anomaly detection during past few years. Machine learning based intrusive activity detector is becoming more popular. The most commonly used machine learning algorithms for Intrusion Detection System (IDS) are K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF). However, the performance of these methods is reliant upon the selection of the proper parameter values. This research focuses its aim to build an IDS model based on the most effective algorithms. The machine learning algorithms are used in this research are KNN, SVM and RF. To improve these algorithms classification accuracy, some parameters of the algorithms are optimized using Particle Swarm Optimization (PSO) and Artificial Bee Colony (ABC) optimization techniques, while other parameters are used with default values. The result of this experiment shows that optimized KNN, SVM and RF perform better than these algorithms with their default parameter values. Furthermore, the results the experiment shows that KNN is the most suitable algorithm for network anomaly detection regarding detection of known network attacks and unknown network attacks. NSL-KDD standard dataset is used for the experiments of this research. It has been proven that our proposed model performs better than what is provided in the state-of-arts models.

Keywords: Anomaly Detection, Intelligent Intrusion Detection System, Swarm Intelligence, Machine Learning Algorithms.

Optimize Edilmiş Makine Öğrenimi Algoritmaları Kullanarak İnternet Ağı Saldırı Tespiti

Öz

İnternet ağı saldırı tespit mekanizması, mevcutta hızlı büyüyen ağ sistemlerinde birincil gereksinimdir. Veri madenciliği ve makine öğrenimi yaklaşımları, son birkaç yıldır ağ anomali tespiti için yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenimi tabanlı saldırı tespit sistemleri son zamanlarda daha popüler hale gelmektedir. Saldırı Tespit Sistemi (STS) için en yaygın olarak kullanılan makine öğrenimi algoritmaları K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makinesi (DVM) ve Rastgele Orman (RO) algoritmalarıdır. Ancak bu yöntemlerin performansı, uygun parametre değerlerinin seçimine bağlıdır. Bu araştırma, etkili makine öğrenme algoritmalarına dayalı bir STS modeli oluşturma amacına odaklanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan makine öğrenme algoritmaları KNN, DVM ve RO'dır. Bu algoritmaların sınıflandırma doğruluğunu iyileştirmek için algoritmaların bazı parametreleri Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Yapay Arı Kolonisi (YAK) optimizasyon teknikleri kullanılarak optimize edilmiştir. Çalışmanın sonucu, parametreleri optimize edilmiş KNN, DVM ve RO'nun, orijinal parametre değerleri ile kullanımlarından daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Ayrıca, deney sonuçları, hem bilinen ağ saldırılarının hem de bilinmeyen ağ saldırılarının tespiti ile ilgili olarak ağ anomali tespitinde KNN'nin en uygun algoritma olduğunu göstermektedir. Bu araştırma kapsamında çalışmalarda NSL-KDD standart veri seti kullanılmıştır. Çalışmada önerilen modelin, son teknoloji modellerde sağlanandan daha iyi performans gösterdiği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anomali Tespiti, Akıllı Saldırı Tespit Sistemi, Sürü Zekâsı, Makine Öğrenimi Algoritmaları.

* Corresponding Author: tahira-k@astra-bank-bvi.com

1. Introduction

During the past two decades, global networking and internet have become a requirement for the majority of the population in the world. The usage of social networking sites and several applications are part of daily routine. The percentage of internet users has rapidly increased over few years and it is expected to rise more in the future. The increase of devices connected to the internet has increased the risk of the unauthorized activity, and it is becoming defenseless from attacks whether they are internal or external. Cybercriminals can attempt to dodge the security of a computer system to reach the confidential data. Because of this, users need to manage the security of their information and data.

To prevent the sensitive information from cybercriminals, there are several types of security services such as firewalls, Intrusion Detection System (IDS), Intrusion Prevention System (IPS). In this study, our focus is on IDS. IDS monitors and analyzes all events occurring on a computer network, identifies intrusions and searches for a sign of security problems [1, 2]. In case of anomaly, IDS generate an alarm to aware the system administrators. IDS implementation can be either network-based to monitor all the events happening in the network or can be deployed host-based to record all the incidents occurring in that specific PC [3].

Enterprises deploy IDS as network-based and use two approaches of the IDS for their business namely misuse-based IDS and anomaly-based IDS. Misuse-based IDS functions on signature and generate an alarm when an activity match the signature. Anomaly-based IDS sends alert to the network management when an action deviates the normal behavior of the network system [3, 4]. Both of these IDS types are used to protect a network system. Computer system tends to be secure if confidentiality, integrity and availability of that setup are assured [5].

An enormous amount of network traffic is generated every day. Machine Learning (ML) and Data Mining (DM) are the best methods processing this traffic. ML-DM methods can identify patterns of regular and intrusive traffic therefore they are used to identify network traffic. A classification method can learn these patterns and detect present known attacks and future unknown traffic.

In this study, three machine learning algorithms are used to categorize the malicious traffic and the normal traffic. These algorithms are K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machine (SVM), and Random Forest (RF) to design an efficient IDS. Machine learning algorithms performance strongly depending on optimization of their parameters. To improve the performance of our anomaly detector, specific parameters of KNN, SVM and RF are optimized. For optimization task, Particle Swarm Optimization (PSO) and Artificial Bee Colony (ABC) are used. After PSO and ABC tune the algorithm parameters, the optimized algorithms are trained and tested on NSLKDD dataset and compared with the not optimized algorithms.

The rest of this paper has been organized as follows: section two presents some literature review based on intrusion detection. Section three provides brief information on methods and materials used in this research. Part four includes experiments and part five explains result analysis and discussion. In the last

section, conclusion and information about the future works are given.

2. Related Works

A study that has been done in 2015, by Dhanabal et al. [6] applied SVM on normalized NSL-KDD dataset to detect intrusions in networks. The author uses CFS (Correlation based Feature Selection) method to select the effective features of the NSLKDD dataset. This technique reduces the time and resource utilization as well as increase the accuracy rate. This paper provides sufficient information about the NSL-KDD dataset. SVM and KNN are used to detect network anomalies. In [7] while the NSLKDD dataset is used for training and testing the detector model. The author did both binary and multi-class classification. The SVM accuracy on test dataset was 69%, and KNN accuracy was 92%. A survey paper was published in 2016 [8] provide information on different types of machine learning algorithms including SVM, to be used for anomaly detection. The complexity of ML/DM algorithms is addressed, discussion of challenges for using ML/DM for cybersecurity is presented, and some recommendations are provided. Farnaaz et al. [9] in 2016 used RF modeling for intrusion detection and RF modeling produces a better result than most of the classification methods in term of detecting anomalies. RF deals with multi-class classification and the performance of the model evaluated regarding accuracy (ACC), False Acceptance Rate (FAR), Detection Rate (DR), Matthews correlation coefficient (MCC). In [9], the RF is compared with Decision Tree according to the Symmetric uncertainty of attributes. Another study written in 2016 by Aburomman et al. [10] proposed a novel ensemble construction method that uses PSO generated weights to create an ensemble of classifiers (SVM and KNN) with better accuracy for intrusion detection. The authors stated that weights made by metaheuristic could yield improved accuracy for intrusion detection system. SVM is a state-of-the-art machine learning algorithm. However, the performance of SVM depends on the selection of the appropriate parameters. In [11], the author proposed an IDS model based on Information Gain for feature selection combined with the SVM classifier. The parameters for SVM will be selected by swarm intelligence algorithms (PSO and ABC). NSLKDD dataset is used for the experiments. The new optimized model accuracy rate is 98.6% by PSO optimization and 98.8% by ABC optimization.

3. Material and Method

In this section, a brief information is provided on the algorithms and techniques that are used for network intrusion detection in this study.

3.1. Machine Learning Algorithms

3.1.1. K-Nearest Neighbor (KNN)

K-Nearest Neighbors algorithm is one of the supervised machine learning algorithms that is very simple to understand and is the mostly commonly used algorithms for classification. KNN works based on minimum distance from the query instance to the training sample to determine the nearest neighbors of the unknown instance. After the k nearest neighbors of the new instance is gathered, the majority vote of the nearest neighbors determines what class the unknown instance is classified to [12].

3.1.2. Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine is a supervised machine learning algorithm which is used in classification and regression problems. It is widely used in security software such as network anomaly detection. In this algorithm, each data item is plotted as a point in an n-dimensional space, each point shows a feature of the dataset. The classification is performed by a hyperplane that differentiates the classes of the instances. This algorithm is simple to apply and provides an excellent result if the hyperplane is placed correctly or the right hyperplane is identified [13].

3.1.3. Random Forest (RF)

Random Forest establishes by a different bootstrap pattern from the initial data formed. A new instance that needs to be classified is put down each the trees in the forest for classification. After then each tree gives a vote that indicates the tree's decision about the class of the object and the forest chooses the type with the most votes for the project [1].

3.2. Metaheuristic Algorithms

3.2.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO is a swarm-based optimization technique introduced by Dr. Eberhard and Dr. Kennedy in 1995 [14]. This method is animated from the social behavior of birds searching for a piece of food in a specific area, the birds are not aware of where the food is located but, in each iteration, they know how close the food is. The best way to catch the food is to follow the nearest birds to the food [15,16]. In PSO term, the birds are called "particles". Each particle has position and velocity, velocity is the speed and direction of a bird. In addition of these attributes the particles also have fitness value which is obtained by calculating the fitness function at particle's current position [15, 17, 18].

The particle's velocity is updated using Equation 1.

$$v_{id}^{t+1} = w * v_{id}^t + c_1 * r_{1i} * (p_{id} - x_{id}^t) + c_2 * r_{2i} * (p_{gd} - x_{id}^t) \quad (1)$$

And the particle's position is updated using Equation 2.

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (2)$$

In the equations, t shows the t 'th iteration of PSO, d indicates search space dimension, w is initial weight, c_1 and c_2 are acceleration factors, r_1 and r_2 are random numbers between $[0,1]$. And p_{id} and p_{gd} are pbest and gbest respectively. p_{id} (pbest) is the best particle in the t 'th iteration and p_{gd} (gbest) is the best particle in all iterations until then [19].

3.2.2. Artificial Bee Colony (ABC)

ABC is inspired by the social behavior of honeybee searching for a food origin. The honeybees can store and share the information they have, can memorize the search area, and can take decision based on the provided information. Based in changed in the environment they can move further by social

learning and teaching. This intelligence behavior of them motivates Karaboga to develop an algorithm called Artificial Bee Colony (ABC) in 2005 [5]. The honeybee behavior can be summarized as follows [20]:

1. Food Source: The food source is exploit by honey bees which has information about the quality, distance and direction of the food origin. While honeybee searches for the food, it selects a particular food origin. From this food source, bee gathers information about, the quality of food source, the amount of nectar and the direction in which the food located from the hive. Bee stores all this information to share with other bees later.
2. Employed bees: The Food source is discovered by this group of bees. They keep information about the quality of the food distance and direction from the hive.
3. Unemployed bees: This group of are divided into two categories for onlooker bees and scouts' bees. The onlooker bees receive information about food source and choose the food source with higher quality. Whereas scouts are responsible for finding the new food origin when the existing food source is exhausted [21].

The artificial bee colony behavior is the same as real honeybee. ABC process requires the following steps:

1. Population initialization: ABC generates a distributed population of SN solutions (food source positions), where SN represents the size of employed or onlooker bees, where each solution x_m is a D-dimensional vector. In our experiment D is the number of parameters to be optimized. Equations 3 shows the bee swarm initialization:

$$x_m = l_i + rand(0,1) * (u_i - l_i) \quad (3)$$

Where x_m is the food source, u_i and l_i are the upper level and lower level of solution space. "rand (0, 1)" is a random number in range $[0, 1]$.

2. Employed bee phase: The employee bees search for food sources in the neighborhood. This exploration is defined in Equation 4:

$$v_{mi} = x_{mi} + \varphi_{mi}(x_{mi} - x_{ki}) \quad (4)$$

Where i is a randomly selected parameter index, x_k is a randomly selected food source, and φ_{mi} is a random number in the range $[-1, 1]$. After v_{mi} is generated, we can obtain the fitness value for the food origin according to Equation 5.

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{f_i + 1}, & f_i \geq 0 \\ 1 + |f_i|, & f_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Where f_i shows the objective value of the i 'th solution.

3. Onlooker bee phase: After employee bee has found the food source, they will share the information about the food source and its quality with the onlooker bees. The probability of selecting that food source by onlooker bees is represented in Equation 6.

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_i} \quad (6)$$

Where fit_i indicates the fitness, solution represented by food source i and SN indicate the total number of food sources.

4. Scouts bee phase: If the effectiveness of food sources cannot be improved, then the scout bee removes the existing solution and start searching for a new solution randomly using equation.

3.3. Dataset

In this study NSL-KDD dataset is used to create an intrusion detection model. It is a predictive model that could determine whether the traffic is normal or attack [6]. This dataset has two parts as NSL-KDD train, and NSL-KDD test set. The training dataset is made up of 21 various attacks out the 37 attacks in the test set. All these attack types are categorized into four classes of DoS, Probe, R2L, and U2R. For this study, the original NSL-KDD dataset which contains 125973 data records is selected for training. While for the test approaches, two different test datasets are used. The first test dataset contains 25192 data records of known attacks used for known attacks predictions. The other dataset that includes 22544 data records is used for unknown attacks prediction. Dataset features are given in Table 1.

Table 1. Dataset Attributes

No	Feature	No	Feature
1	Duration	22	Is_guest_login
2	Protocol_type	23	Count
3	Service	24	Srv_count
4	Flag	25	Serror_rate
5	Src_bytes	26	Srv_serror_rate
6	Dst_bytes	27	Rerror_rate
7	Land	28	Srv_rerror_rate
8	Wrong_fragment	29	Same_srv_rate
9	Urgent	30	Diff_srv_rate
10	Hot	31	Srv_dif_host_rate
11	Num_failed_logins	32	Dst_host_count
12	Logged_in	33	Dst_host_srv_count
13	Num_compromised	34	Dst_host_same_srv_rate
14	Root_shell	35	Dst_host_diff_srv_rate
15	Su_attempted	36	Dst_host_same_src_port_rate
16	Num_root	37	Dst_host_srv_dif_host_rate
17	Num_file_creations	38	Dst_host_serror_rate
18	Num_shells	39	Dst_host_srv_serror_rate
19	Num_access_files	40	Dst_host_rerror_rate
20	Num_outband_cmds	41	Dst_host_srv_rerror_rate
21	Is_hot_login		

4. Experimental Results

Objective of this study is to design a network intrusion detection system using machine learning algorithms. Since machine learning algorithms parameters values have a high impact on the performance of the algorithm, aim of the study is to find the suitable values for the parameters of these algorithms using PSO and ABC algorithms. There are two experiments where in the first experiment a detective model is made using the algorithms with default parameter values, and in the second experiment PSO and ABC are used to optimize the most critical parameters for KNN, SVM and RF. The classification approach is a multiclass classification implemented in Python.

Both experiments use the same NSL-KDD dataset. Thus, dataset preparation is a global setting. The dataset is noisy, contains some unnecessary and redundant features. Dataset records do not have the same scales; some of them are scaled with timescales while the other attribute has a byte scale. All these problems need to be addressed before the algorithms use the dataset. The following steps are taken to preprocess the datasets.

1. The dataset features are given a name. It makes easy to address one specific element.
2. The attack types are grouped into four classes DoS, Probe, R2L, U2R.
3. The symbolic feature values are converted to numeric values. For example, features “protocol type” has three values of “tcp, udp, icmp” and we grant tcp=1, udp=2, icmp=3.
4. The dataset is normalized between [0,1]
5. The dataset features are reduced from 41 features to 26 features by PCA.

4.1. Feature Reduction using PCA

Principal Components Analysis (PCA) is dimensionality reduction tool that is used to reduce a broad set of data records to a small number of data which is more meaningful and usable. PCA changes redundant feature into orthogonal features [23]. This means it combines correlated features into one feature space. So, no two elements contain the same information about the data record. It can be helpful to reduce the original feature space to a lower number of features before feeding the data as a training data or test data to the Machine learning classifier. Indeed, it can reduce the computational cost of the system tremendously. We used Python Sklearn library to implement PCA feature elimination method.

4.2. Intrusion Detection using ML with Default Parameters

In the first experiment; KNN, SVM and RF are used with default parameters to build a classifier model based on NSL-KDD training dataset.

The model that is made on KNN supposed to classify the dataset into five classes of Normal, DoS, Probe, R2L and U2R based on the training examples that was given to the algorithm. Sklearn Python tool is used to implement this classification method. Once the model is made, it is tested for its predictability power on both test datasets, the known and unknown attack datasets. For classifier validation, 5-fold cross-validation is used. For performance evaluation; detection rate (DR), accuracy rate (AR), time utilization (Time) and resource utilization (Resource)

are used. Accuracy rate is calculated based on the correctly classified data per total amount of data in the dataset. The detection rate is the ratio between the correctly classified attacks and the total number of attacks in the dataset.

For implementing the SVM and RF classifier, the approach is the same just the classifier is changed. The classifiers that build based on the SVM and also the RF algorithms, their performances will be tested on the both test datasets. The DR, AR, Time and Resource are the metrics that evaluate the performance of these algorithms. Algorithms with their default parameters are used in the experiment are given in Table 2.

Table 2. ML Parameters Default Values

KNN Parameter	SVM Parameters	RF Parameters
K = 5	Cost = 1	N-estimators = 10
	Gamma = 1/number of features	Random-state = 0
		Min-sample-leaf = 1

4.3. Intrusion Detection using ML with Optimized Parameters

Classification is a supervised learning method in which the computer program learns from the data input given to it and then uses this learning to classify new observation. Classification accuracy is a metric to evaluate a classifier model. Accuracy represents the number of correct predictions from all predictions made. By looking at the accuracy of a classifier model, it is determined that how accurate a classifier works. The aim of this study is to improve the performance of the classifiers by optimizing their parameters. For this purpose, some important parameters of the KNN, SVM, and Rf algorithms are optimized by PSO and ABC algorithms. Table 3 shows the parameters to be optimized and their optimization ranges.

For the KNN algorithm, choosing the right value for K improves the performance of the algorithm. The ABC and PSO algorithms choose the best value for K, an optimum value for K will improve the performance of the IDS based on KNN algorithm.

For SVM algorithm, the Cost and Gamma parameters are optimized. The parameter Gamma determines the influence of training examples in the classifier model that will be created. A low value shows that each training example does not have a high effect on the classifier and a higher value indicates that every training example has impact on the classifier model. Moreover, the Cost parameter determines the cost of misclassification on the training examples. Cost with a higher value make a strict classification, in this case the margin of error will be smaller, and the classifier is supposed to classify every sample correctly. A lower cost value makes the margin error loose and will cause misclassification. The optimal cost value is a value that leaves some space for errors while the intention must a correct classification.

For the RF algorithm, three important parameters that help the algorithm learn faster and predict more accurate are optimized. The n_estimators parameter is the number of trees that

are built before the prediction. A higher number of trees improve the accuracy but utilize more time and resources. Min_sample_leaf parameter is the end node of a decision tree, by increasing this parameter's value each tree in the forest become more constrained as it has to consider more samples at each node. The last parameter that is optimized for RF is random_state. It makes a solution to replicate more comfortable and help the RF algorithm to learn faster.

Table 3. ML Parameter's Optimization Ranges

KNN Parameter	SVM Parameters	RF Parameters
K = 3	Cost = $[2^{-1}, 2^3]$	N-estimators = [1, 100]
	Gamma = $[2^{-6}, 2]$	Random-state = (0,100)
		Min-sample-leaf = [1, 10]

4.3.1. Parameter Optimization using PSO

In this experiment first PSO was used for the KNN, RF and SVM parameters optimization. For optimizing the K parameter, the fitness function was calculated by measuring the accuracy rate of the classifier on test datasets. The PSO parameters were set as the number of swarms was selected as 10 and 20 particles, maximum cycle was 30, and C1 and C2 were set as 0.7 and 1, respectively. For optimizing the K parameter of KNN algorithm, PSO is initiated by a random swarm of particles in the optimization range and search for the best value for the K parameter. The KNN algorithm shows the best performance when K is 3. For optimizing the Cost (C) and Gamma parameters of SVM algorithm, the PSO algorithm searches for the best values for C and Gamma in the given range above. After 30 iterations, the algorithm found the best values for C and Gamma displays in Table 4. RF parameters optimization is a three-dimensional search area. The particles at the same time must find three best values for the three parameters of RF to improve the algorithm's accuracy. In iteration 30, the PSO algorithm returns the optimum values for n_estimators, min_sample_leaf, and random_state parameters show in Table 4. Table 4 shows the optimum values found by the PSO algorithm so far. And, Figure 1 shows parameter optimization steps by PSO.

Table 4. Best parameters values found by PSO

PSO with 10 particles		
KNN Parameter	SVM Parameters	RF Parameters
K = 3	Cost = 6.5	N- estimators = 73
	Gamma = 1.80	Random-state = 42
		Min-sample-leaf = 1
PSO with 20 particles		
KNN Parameter	SVM Parameters	RF Parameters
K = 3	Cost = 6.5	N- estimators = 70
	Gamma = 1.85	Random-state = 38
		Min-sample-leaf = 1

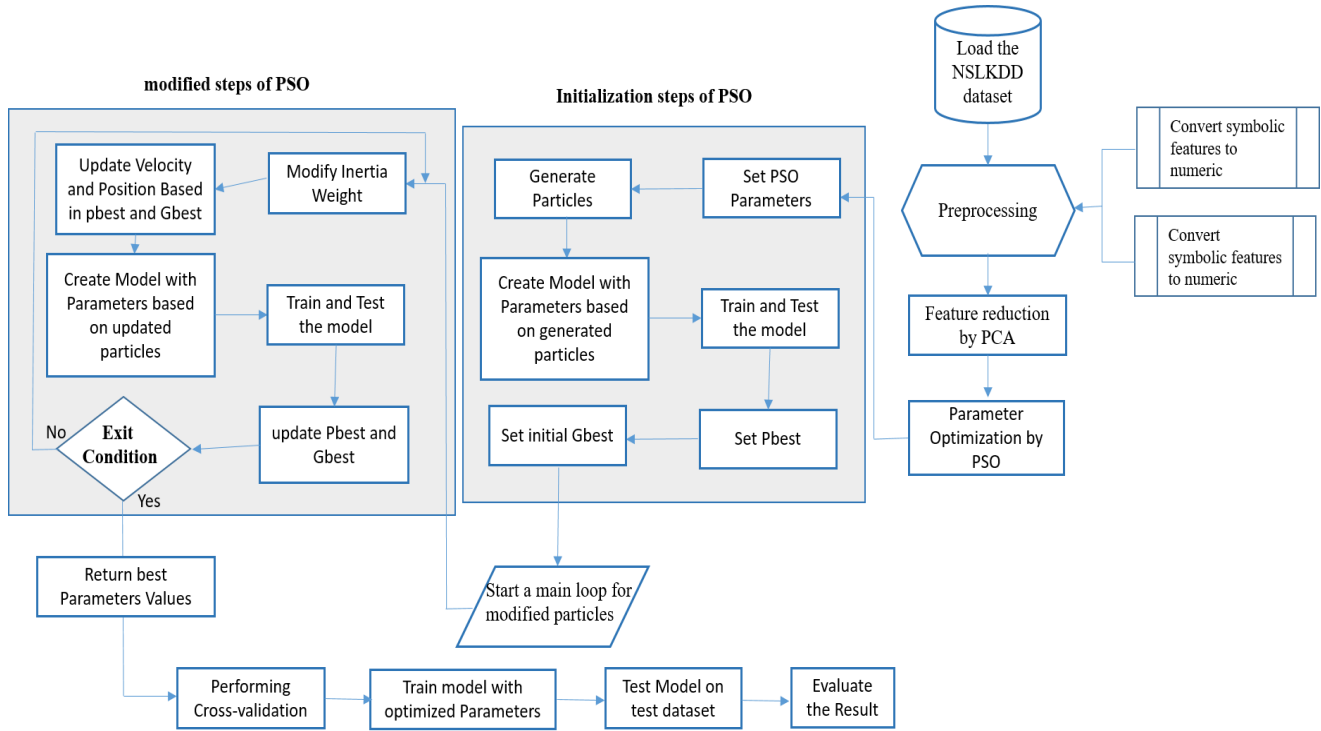


Fig.1. PSO Work Flow for Parameter Optimization

4.3.2. Parameter Optimization using ABC

Following PSO, ABC algorithm is used to optimize the parameter of KNN, SVM, and RF algorithms. The ranges of optimization are the same PSO. The ABC parameters are set as the colony size is selected as 10 and 20, maximum cycle is 30 and employed bee percentage is 50%. In each phase half of the bees forage the food sources and delivers the gathered information to the other bees which remains in the hive [24].

For K optimization, the ABC algorithm after 30 cycles stops the process and returns optimum values as 3 for the K parameter. For SVM parameter optimization, the algorithm tried to find the optimum values for C and Gamma parameters. Finally, for RF, ABC tried to find the optimum values for n-estimator, min-sample-leaf and random-state. The ABC algorithms follow the same steps for optimizing KNN, SVM and RF algorithms parameters. Figure 2 shows parameter optimization steps by ABC. Table 5 displays the values found by ABC for the algorithm’s parameters.

Table 5. Best parameters values found by ABC

ABC with 10 bees		
KNN Parameter	SVM Parameters	RF Parameters
K = 3	Cost = 6.04	N- estimators = 34
	Gamma = 1.33	Random-state = 97
		Min-sample-leaf = 1
ABC with 20 bees		

KNN Parameter	SVM Parameters	RF Parameters
K = 3	Cost = 5.34	N- estimators = 33
	Gamma = 1.50	Random-state = 97
		Min-sample-leaf = 1

5. Results and Discussion

There are two different analyzes for the both known and unknown test dataset. In the first analysis; KNN, SVM, and RF algorithms are used with default parameters to build and anomaly detection model. The model is trained on NSL-KDD training dataset and teste on the NSL-KDD testing datasets, both known and unknown attack datasets. Tables 6 and 7 show the algorithm performances on datasets with default parameters. In Table 6, if we consider computational cost all the algorithms perform very well in term of memory usage and CPU usage, but RF consumes fewer resources and test time than SVM. In terms of accuracy rate and detection rate, KNN performs better than other algorithms. Table 7 shows the test results on unknown test dataset. Here KNN performs better than SVM and RF regarding classification accuracy, detection rate and train time. SVM regarding resource consumption does not perform very well but its accuracy rate is better than RF. Tables 8 and 9 show the results of optimized classifiers on known and unknown test datasets. Table 8, the success of the optimized algorithms is not very clear; but in the Table 9, the successes of classifiers are obvious.

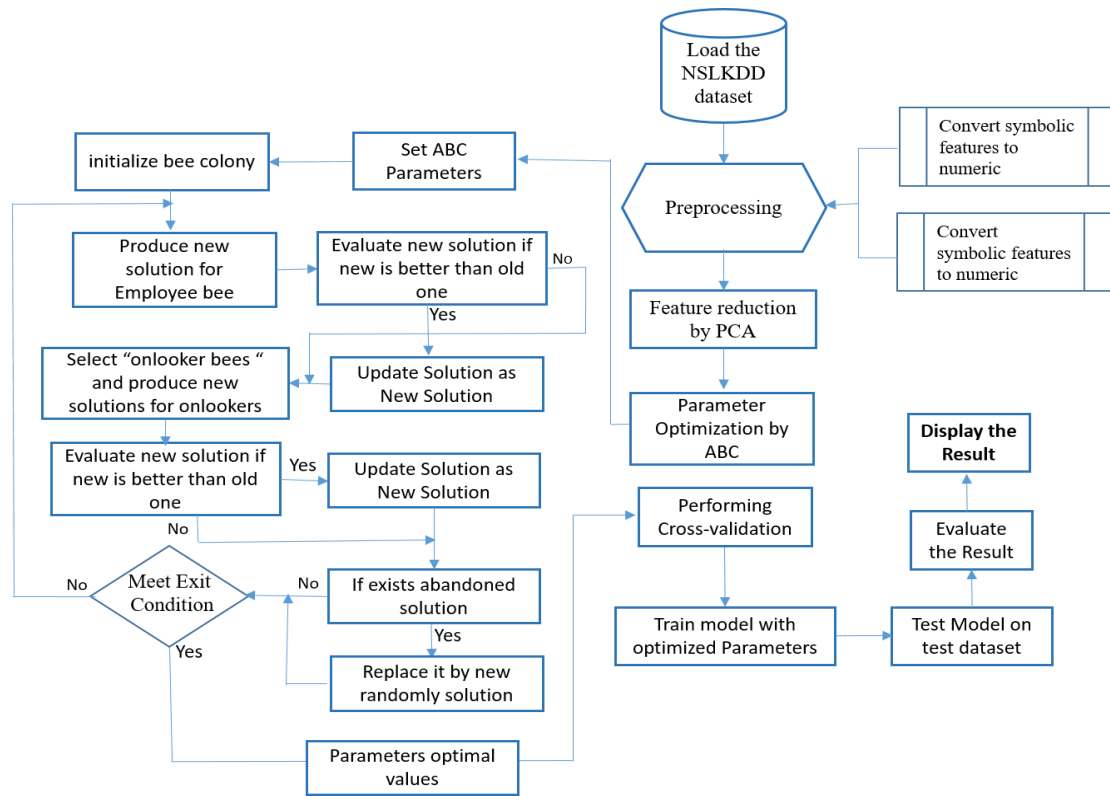


Fig.2. ABC Work Flow for Parameter Optimization

Table 6. Intrusion detection results using ML with default parameters (Known Attacks test set)

Classifiers	CV-Score	Train Time (Sec)	Test Time (Sec)	RAM Usage	CPU Usage	Overall Detection Rate	Overall Accuracy Rate
KNN	0.9978	0.44	2.25	0.25 GB	42.7	0.997	0.998
SVM	0.990	79.5	10.23	0.27 GB	26	0.992	0.990
RF	0.995	6.33	0.038	0.25 GB	31.10	0.994	0.996

Table 7. Intrusion detection results using ML with default parameters (Unknown Attacks test set)

Classifiers	CV-Score	Train Time (Sec)	Test Time (Sec)	RAM Usage	CPU Usage	Overall Detection Rate	Overall Accuracy Rate
KNN	0.997	0.36	3.34	0.25 GB	36.7	0.72	0.78
SVM	0.991	81.27	9.6	0.26 GB	26.4	0.66	0.76
RF	0.996	5.70	0.030	0.24 GB	30.20	0.66	0.75

Table 8. ML algorithms performance on known attacks dataset

Algorithms	CV-Score	Train Time (Sec)	Test Time (Sec)	RAM Usage	CPU Usage	Overall Detection Rate	Overall Accuracy Rate
KNN	0.9978	0.44	2.25	0.25 GB	42.7	0.997	0.998
KNN+PSO-10	0.998	0.83	0.46	0.21 GB	30.8	1.00	0.999
KNN+ABC10	0.998	0.67	0.57	0.20 GB	21.00	1.00	0.999
KNN+PSO-20	0.998	0.77	0.54	0.27 GB	21.1	1.00	0.999
KNN+ABC20	0.998	0.69	0.60	0.21 GB	28.1	1.00	0.999
SVM	0.990	79.5	10.23	0.27 GB	26	0.992	0.990
SVM+PSO-10	0.994	51.7	5.65	0.30 GB	29.2	0.995	0.994
SVM+ABC10	0.993	52.31	4.70	0.22 GB	22.00	0.995	0.994
SVM+PSO-20	0.993	54.4	5.65	0.30 GB	37.2	0.995	0.994
SVM+ABC20	0.993	45.8	4.33	0.29 GB	27.9	0.995	0.994
RF	0.995	6.33	0.038	0.25 GB	31.10	0.994	0.996
RF + PSO-10	0.998	49.5	0.24	0.21 GB	27.4	0.999	0.999
RF+ ABC-10	0.998	34.12	0.34	0.21 GB	29.8	0.999	0.999
RF + PSO-20	0.998	57.7	0.25	0.11 GB	37.4	0.999	0.999
RF + ABC-20	0.998	52.2	0.31	0.30 GB	42.8	0.999	0.999

Table 9. ML algorithms performance on unknown attacks dataset

Algorithms	CV-Score	Train Time (Sec)	Test Time (Sec)	RAM Usage	CPU Usage	Overall Detection Rate	Overall Accuracy Rate
KNN	0.997	0.36	3.34	0.25 GB	36.7	0.72	0.78
KNN+PSO-10	0.998	0.66	2.25	0.21 GB	25.4	0.749	0.795
KNN+ABC-10	0.998	0.68	1.42	0.20 GB	22.5	0.751	0.795
KNN+PSO-20	0.998	1.23	0.54	0.21 GB	51.1	0.749	0.795
KNN+ABC20	0.998	0.62	2.87	0.20 GB	25.4	0.751	0.795
SVM	0.991	81.27	9.6	0.26 GB	26.4	0.66	0.76
SVM+PSO-10	0.994	53.8	6.78	0.25 GB	25.2	0.683	0.77
SVM+ABC-10	0.994	65.86	5.71	0.23 GB	17.4	0.71	0.77
SVM+PSO-20	0.994	51.9	4.33	0.29 GB	27.9	0.686	0.765
SVM+ABC-20	0.994	110	16.2	0.30GB	13.2	0.684	0.765
RF	0.996	5.70	0.030	0.24 GB	30.20	0.66	0.75
RF + PSO-10	0.998	11.2	0.041	0.20 GB	53.2	0.696	0.76
RF + ABC-10	0.998	22.21	0.15	0.20 GB	24.20	0.709	0.779
RF + PSO-20	0.998	52.2	0.038	0.20 GB	39.6	0.705	0.773
RF + ABC-20	0.998	20.43	0.13	0.20 GB	25.9	0.709	0.778

Tables 10-11, show confusion matrices of classifiers with default parameters. Tables 12-19 show confusion matrices of classifiers with optimized parameters

Table 10. Confusion matrices for ML algorithms with default parameters on known test dataset

		Confusion Matrix for KNN					Confusion Matrix for SVM					Confusion Matrix for RF				
		Actual					Actual					Actual				
		Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R
Predicted	Normal	13434	7	8	6	1	13336	50	20	16	3	13428	14	16	14	3
	Probe	6	2275	1	0	1	70	2227	8	1	0	15	2273	5	0	1
	DoS	5	4	9225	3	0	27	10	9205	6	1	2	2	9213	2	0
	R2L	4	3	0	199	3	16	2	1	186	3	4	0	0	192	3
	U2R	0	0	0	1	6	0	0	0	0	4	0	0	0	1	4

Table 11. Confusion matrices for ML algorithms with default parameters on unknown test dataset

	Confusion Matrix for KNN					Confusion Matrix for SVM					Confusion Matrix for RF				
	Actual					Actual					Actual				
	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R
Predicted	9446	318	1451	1720	28	9419	749	1149	2267	97	9432	782	1621	2027	101
	204	1783	145	301	133	209	1352	123	111	91	221	1453	94	243	65
	52	258	5862	221	2	78	320	6186	178	5	58	186	5743	260	7
	8	62	0	490	16	5	0	0	198	5	0	0	0	224	27
	1	0	0	22	21	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0

Table 12. Confusion matrices for ML algorithms optimized by PSO-10 on known test dataset

	Confusion Matrix for KNN+PSO-10					Confusion Matrix for SVM+PSO-10					Confusion Matrix for RF+PSO-10				
	Actual					Actual					Actual				
	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R
Predicted	13448	0	0	0	0	13387	32	9	15	2	13447	0	0	1	1
	0	2289	0	0	0	37	2255	1	1	1	1	2289	0	0	0
	0	0	9234	0	0	19	2	9223	3	0	0	0	9234	0	0
	0	0	0	209	0	6	0	1	189	1	0	0	0	208	0
	1	0	0	0	11	0	0	0	1	7	1	0	0	0	10

Table 13: Confusion matrices for ML algorithms optimized by PSO-10 on unknown test dataset

	Confusion Matrix for KNN+PSO-10					Confusion Matrix for SVM+PSO-10					Confusion Matrix for RF+PSO-10				
	Actual					Actual					Actual				
	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R
Predicted	9465	367	1077	1730	42	9421	62	830	1344	23	9445	674	1297	1854	66
	183	1747	103	338	102	205	1960	126	716	140	208	1547	142	443	95
	58	256	6263	221	2	79	399	6408	189	8	56	200	6017	261	2
	5	50	0	417	13	6	0	94	498	4	2	0	2	104	12
	0	1	15	48	41	0	0	0	7	25	0	0	0	92	25

Table 14. Confusion matrices for ML algorithms optimized by PSO-20 on known test dataset

	Confusion Matrix for KNN+PSO-20					Confusion Matrix for SVM+PSO-20					Confusion Matrix for RF+PSO-20				
	Actual					Actual					Actual				
	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R
Predicted	13448	0	0	0	0	13387	32	9	15	2	13447	0	0	1	1
	0	2289	0	0	0	37	2255	1	1	1	1	2289	0	0	0
	0	0	9234	0	0	19	2	9223	3	0	0	0	9234	0	0
	0	0	0	209	0	6	0	1	189	1	0	0	0	208	0
	1	0	0	0	11	0	0	0	1	7	1	0	0	0	10

Table 15. Confusion matrices for ML algorithms optimized by PSO-20 on unknown test dataset

	Confusion Matrix for KNN+PSO-20					Confusion Matrix for SVM+PSO-20					Confusion Matrix for RF+PSO-20				
	Actual					Actual					Actual				
	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R
Predicted	9464	367	1077	1730	42	9420	696	1015	2236	70	9460	657	1116	1959	44
	183	1747	103	338	102	205	1380	229	143	96	197	1556	194	297	118
	59	256	6263	221	2	79	345	6214	126	9	51	208	6146	214	2
	5	50	0	417	13	6	0	0	238	10	3	0	2	240	12
	0	1	15	48	41	1	0	0	11	15	0	0	0	44	24

Table 16. Confusion matrices for ML algorithms optimized by ABC-10 on known test dataset

		Confusion Matrix for KNN+ABC-10					Confusion Matrix for SVM+ABC-10					Confusion Matrix for RF+ABC-10					
		Actual					Actual					Actual					
		Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	
Predicted	Normal	13448	0	0	0	0	13388	32	7	16	1	13447	0	0	1	1	
	Probe	0	2289	0	0	0	36	2254	1	0	1	0	2289	0	0	0	0
	DoS	0	0	9234	0	0	19	3	9225	4	0	0	0	9234	0	0	0
	R2L	0	0	0	209	0	6	0	1	188	2	1	0	0	208	0	0
	U2R	1	0	0	0	11	0	0	0	1	7	1	0	0	0	0	10

Table 17. Confusion matrices for ML algorithms optimized by ABC-10 on unknown test dataset

		Confusion Matrix for KNN+ABC-10					Confusion Matrix for SVM+ABC-10					Confusion Matrix for RF+ABC-10				
		Actual					Actual					Actual				
		Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R
Predicted	Normal	9465	367	1057	1727	40	9451	445	1229	1973	56	9455	481	1223	1963	56
	Probe	183	1747	119	321	107	207	1767	135	266	108	203	1744	137	261	108
	DoS	58	254	6265	177	2	51	209	6092	250	2	50	196	6096	255	2
	R2L	5	52	2	419	13	2	0	237	237	20	3	0	2	246	10
	U2R	0	1	15	110	38	0	0	28	28	24	0	0	0	29	24

Table 18. Confusion Matrices for ML algorithms optimized by ABC-20 on known test dataset

		Confusion Matrix for KNN+ABC-20					Confusion Matrix for SVM+ABC-20					Confusion Matrix for RF+ABC-20					
		Actual					Actual					Actual					
		Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	
Predicted	Normal	13448	0	0	0	0	13388	32	7	16	1	13447	0	0	1	1	
	Probe	0	2289	0	0	0	36	2254	1	0	1	0	2289	0	0	0	0
	DoS	0	0	9234	0	0	19	3	9225	4	0	0	0	9234	0	0	0
	R2L	0	0	0	209	0	6	0	1	188	2	1	0	0	208	0	0
	U2R	1	0	0	0	11	0	0	0	1	7	1	0	0	0	0	10

Table 19. Confusion Matrices for ML algorithms optimized by ABC-20 on unknown test dataset

		Confusion Matrix for KNN+ABC-20					Confusion Matrix for SVM+ABC-20					Confusion Matrix for RF+ABC-20				
		Actual					Actual					Actual				
		Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R	Normal	Probe	DoS	R2L	U2R
Predicted	Normal	9464	367	1057	1727	40	9406	57	919	2178	24	9449	517	1260	1979	49
	Probe	183	1747	119	321	107	227	1942	132	179	144	208	1730	102	251	115
	DoS	58	254	6265	177	2	73	422	6407	73	8	51	174	6094	234	2
	R2L	5	52	2	419	13	5	0	0	268	8	3	0	2	258	10
	U2R	1	1	15	110	38	0	0	0	56	16	0	0	0	32	24

In terms of detection known network attacks both optimized versions of the algorithms perform very well, there is only a very little difference between ABC and PSO. Whether regarding

detecting unknown network attacks, the case is different KNN-ABC detection rate is 75% while in KNN-PSO is 74.9%. The accuracy rate of KNN-PSO is 79.5%, and the accuracy rate of KNN-ABC is 79.55%. In case of SVM-PSO and SVM-ABC, the

detection rate of SVM-PSO is 68.6% while SVM-ABC is 71.1% but in term of accuracy rate SVM-PSO performs better than SVM-ABC. RF-ABC with an accuracy rate of 77.8% and detection rate of 70.9% performs better than RF-PSO. When experimental results are compared to the literature, proposed method performs better than what is achieved in the novels. For example, in [6], Voldan achieved 92.47% accuracy for known attacks by KNN while our KNN result on the known dataset is 99.8%. Furthermore, [6] classification performance for SVM was 69% while we achieved 99.4% for known data samples and

77% for unknown data samples. Table 20 shows a comparison between our best results and the literature for the known dataset. Note that accuracy results given in the Table 20 are evaluated on known attacks test dataset. For unknown attacks, Table 21 shows the best accuracy results of our method. Here, we could not compare our results with the literature because, we could not find any study that has been done on the full unknown test dataset.

Table 20. A comparison of our proposed method with the literatures (for known dataset)

With Default Parameters		
Method	Dataset	Accuracy
RF [9]	NSL-KDD	RF = 99.8%
KNN and SVM [7]	NSL-KDD	KNN = 92.47 %, SVM = 69 %
RF and SVM [24]	NSL-KDD	SVM = 99.1%, RF = 99.5
Proposed method [27]	NSL-KDD	KNN = 99.8%, SVM = 99%, RF = 99.6%
With Optimized Parameters		
Method	Dataset	Accuracy
SVM optimized by PSO [25]	KDD CUP'99	SVM (default parameters) = 82.6% SVM + PSO-30 = 99.8%
SVM Optimized by ABC [26]	KDD CUP'99	SVM+ABC-20 = 92.7%
SVM Optimized by PSO and ABC [11]	NSL-KDD	SVM+PSO-20 = 98.6%, SVM+ABC-20 = 98.8%
Proposed method [27]	NSL-KDD	KNN+PSO-10/20 = 99.9% KNN+ABC-10/20 = 99.9% SVM+PSO-10/20 = 99.4% SVM+ABC-10/20 = 99.4 RF+PSO-10/20 = 99.9% RF+ABC-10/20 = 99.9%

Table 21. Optimized ML algorithms best performance on unknown attacks datasets [27]

KNN		SVM		RF	
KNN+PSO-20	79.54%	SVM+PSO-10	77%	RF+PSO-20	77.3%
KNN+ABC-20	79.55%	SVM+ABC-10	77%	RF+ABC-10	77.9%

6. Conclusions and Recommendations

The primary goal of this research is to implement network intrusion detection using machine learning algorithms. For this aim KNN, SVM and RF were used for this study. The performances of the machine learning algorithms are strongly depending on selection appropriate values for their parameters. For parameter optimization, PSO and ABC were used to choose the suitable values for the algorithms parameters and improve the performance. To prove the concept of parameter optimization, improve the algorithm's performance, performance of optimized KNN, SVM and RF were compared with standard KNN, SVM and RF. The experimental results show that optimized algorithms perform better than algorithms with default

e-ISSN: 2148-2683

parameter values. All the experimental results showed that KNN algorithm has a better classification performance while consuming fewer amount of resources and time than SVM. The resource consumption of the RF is less than all other algorithms, but its classification performance is not better than SVM and KNN. Since KNN resource consumption and RF resource consumption is almost the same, so this is not a factor of comparison. The results gained from the experiments indicate that KNN classification performance is 99.8%, KNN-PSO is 99.9 % and KNN-ABC is 99.8% on known attack dataset; and KNN performance is 78%, KNN-PSO is 79.5%, and KNN-ABC is 79.55% on unknown attack test dataset. SVM algorithm performance has been improved from 66% detection rate to 68.6% by PSO optimization and 71% via ABC optimization. For the future work we are considering focusing on detecting

minority attacks (R2L and U2R) to improve their detection and accuracy rate.

7. Acknowledgement

This study is based on Tahira Khorram's Master Thesis [27].

References

- [1] Ganapathy, S., Kulothungan, K., Muthurajkumar, S., Vijayalakshmi, M., Yogesh, P., & Kannan, A. (2013). Intelligent feature selection and classification techniques for intrusion detection in networks. *A survey. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 913-921.
- [2] Mukherjee, S. and Sharma, N., (2012). Intrusion detection using naive Bayes classifier with feature reduction. *Procedia Technology*, 119-128.
- [3] Med, A., Lisitsa, A., & Dixon, C., (2011). A misuse-based network intrusion detection system using temporal logic and stream processing. *IEEE Network and System Security (NSS), 5th International Conference on*, Milan.
- [4] Butun, I., Morgera., S., D., & Sankar., R., (2013). A Survey of Intrusion Detection Systems in Wireless Sensor Networks, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 266-182.
- [5] Karaboga, D., (2005). An idea on honey bee swarm for numerical optimization. Kayseri: Erciyes University,
- [6] Dhanabal, L., & Shantharajah, S. (2015). A Study on NSL-KDD Dataset for Intrusion Detection System Based on Classification Algorithms. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 446-451.
- [7] Volden, H., H. (2016). Anomaly detection using Machine learning techniques. Oslo: University of Oslo.
- [8] Buczak, A. L., & Guven, E. (2016). A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection. *IEEE communication surveys and tutorials*, 1153-1175.
- [9] Farnaaz, N., & Jabbar, M. (2016). Random Forest Modeling for Network Intrusion Detection System, *Procedia Computer Science*, 213-217.
- [10] Aburomman, A., & Bin Ibne Reaz, A. M. (2016). A novel SVM-kNN-PSO ensemble method for intrusion detection system. *Applied Soft Computing*, 2016, pp. 360-372.
- [11] Enache, A.-C., & Patriciu, V. V. (2014). Intrusions Detection Based On Support Vector Machine Optimized with Swarm Intelligence. *9th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*, Romania: IEEE.
- [12] Liao, Y., & Vemuri, V. R. (2002). Use of K-Nearest Neighbor classifier for intrusion detection. *Computers and Security*, 439-448.
- [13] Roughgarden, T., Algorithms, Retrieved from Coursera: <http://class.coursera.org/algo-004/lecture/preview>, July 30, 2017
- [14] Eberhart, R.C., & Kennedy, J. (1999). A new optimizer using particle swarm theory. *In Proceedings of the 6th international symposium on micro machine and human science* (pp. 39-43). Nagoya, Japan.
- [15] Yan, X., (2011). Metaheuristic Optimization Algorithms. http://www.scholarpedia.org/article/Metaheuristic_Optimization.
- [16] Çiftçiöğlü, A.Ö., Doğan, E. (2019). Çelik Çerçevelerin Stokastik Yöntemler Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi* 7(4), 847-861.
- [17] Karakoyun, M., Baykan, N.A., Hacibeyoglu, M. (2017). Multi-Level Thresholding for Image Segmentation with Swarm Optimization Algorithms, *International Research Journal of Electronics & Computer Engineering*, Vol:30.
- [18] Celtek, S.A., Durdu, A. (2020). An Operant Conditioning Approach For Large Scale Social Optimization Algorithms. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi* 8(SI), 38-45.
- [19] Beşkirli, M., Tefek, M.F. (2019). Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Kullanılarak Optimum Robot Yolu Planlama, *Avrupa Bilim Teknoloji Dergisi* SI, 201-213.
- [20] Tefek, M.F., Beşkirli, M. (2019). Tesis Yerleştirme (p-Hub) Probleminin Yapay Arı Kolonisi Kullanılarak Çözülmesi. *Avrupa Bilim Teknoloji Dergisi* SI, 193-200.
- [21] Bansal, J., C., Sharma, H., Jadon, S., S. (2013). Artificial Bee colony Algorithm: A Survey. *International Journal of advanced Intelligence Paradigms*.
- [22] Lakhina, S., Joseph, S., Verma, B. (2010). Feature reduction using PCA for effect anomaly intrusion detection on NSL-KDD. *International Journal of Science Engineering and Technology*.
- [23] Yan, X. (2010). Metaheuristic Optimization, Nature-Inspired Algorithms and Applications. *Cambridge University Press*.
- [24] Roy, S., S., Mittal, D., and Biba, M., (2016). Random Forest Support Vector Machine and Nearest Centriod Method for Classifying Network Intrusion. *Computer Science Series*, 9-17.
- [25] Wang, J., Hong, X., and Ren, R., R., (2009). A Real-time Intrusion Detection System Based on PSO-SVM. *Proceedings of the 2009 International Workshop on Information Security and Applications*, Qingdao-china.
- [26] Wang, J., Li, T., and Ron, R., R. (2010). A Real-time IDS Based on Artificial Bee Colony-Support Vector Machine Algorithm. *IEEE Third International Workshop in Advanced Computational Intelligence*.
- [27] Khorram, T., Network Anomaly Detection Using Optimized Machine Learning Algorithms, Master Thesis, Graduate School of Natural Sciences, Selcuk University, Turkey.



A Review of Data Analysis Techniques Used in Near-Infrared Spectroscopy

Özcan Çataltaş^{1*}, Kemal Tütüncü²

^{1*} Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronic Eng., Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7136-6574),
ozcancataltas@selcuk.edu.tr

² Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronic Eng., Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3005-374X), ktutuncu@selcuk.edu.tr

(First received 19 February 2021 and in final form 8 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.882749)

ATIF/REFERENCE: Çataltaş, Ö. & Tütüncü, K. (2021). A Review of Data Analysis Techniques Used in Near-Infrared Spectroscopy. *European Journal of Science and Technology*, (25), 475-484.

Abstract

Although the analysis of the structure of objects and the components that makeup them has been done for decades, it is one of today's research topics to do this analysis quickly and without damaging the sample. Near-infrared spectroscopy is used in many areas due to its non-contact measurement, fast analysis, and high accuracy features. Near-infrared spectroscopy is used in the classification or quality analysis of products, especially in the agriculture and food sector, due to the chemical bonds interacting in this region. The most critical part of achieving a successful result in near-infrared spectroscopy is pre-processing and analyzing the spectral data using the correct method. In this review, we perform a survey of recent studies that use near-infrared spectroscopy in food production and agriculture. Since there are many studies in this field in the literature, the survey is limited to cover works in the last five years. The review's main question is the pre-processing and data analysis methods used in these studies and the main features of these methods. Among the examined studies, the most frequently used pre-processing method was standard normal variate, and the most frequently used analysis method was partial least squares regression. In addition, the software tools and the spectrum range were also examined within the scope of the study.

Keywords: Near-infrared Spectroscopy, Chemometric, Pre-processing Methods, Regression, Classification.

Yakın Kızılötesi Spektroskopisinde Kullanılan Veri Analizi Tekniklerinin Bir Derlemesi

Öz

Nesnelerin yapılarının ve onları oluşturan bileşenlerin analizi onlarca yıldır yapılsa da bu analizi hızlı ve örneğe zarar vermeden yapmak günümüzün araştırma konularından biridir. Yakın kızılötesi spektroskopisi, temassız ölçüm, hızlı analiz ve yüksek doğruluk özellikleri nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Yakın kızılötesi spektroskopisi, bu bölgede etkileşen kimyasal bağlar nedeniyle özellikle tarım ve gıda sektöründe ürünlerin sınıflandırılmasında veya kalite analizinde sıkça kullanılmaktadır. Yakın kızılötesi spektroskopisinde başarılı bir sonuç elde etmenin en kritik kısmı, doğru yöntemi kullanarak spektral verileri ön işleme ve analiz etmektir. Bu çalışmada, gıda üretimi ve tarımda yakın kızılötesi spektroskopisi kullanan son çalışmaların bir derlemesini gerçekleştirdik. Literatürde bu alanda çok sayıda çalışma olduğu için çalışma son beş yıldaki çalışmaları kapsayacak şekilde sınırlandırılmıştır. Derlemenin ana sorusu, bu çalışmalarda kullanılan ön işleme ve veri analizi yöntemleri ve bu yöntemlerin temel özellikleridir. İncelenen çalışmalarda en sık kullanılan ön işleme yöntemi standart normal dağılım, en sık kullanılan analiz yöntemi ise kısmi en küçük kareler regresyon olarak bulunmuştur. Ayrıca, kullanılan yazılım araçları ve spektrum aralığı da çalışma kapsamında incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yakın Kızılötesi Spektroskopi, Kemometri, Ön İşleme Yöntemleri, Regresyon, Sınıflandırma.

* Corresponding Author: ozcancataltas@selcuk.edu.tr

1. Introduction

The awareness of using quality and healthy products in the food sector is increasing [1]. The quality analysis made by traditional methods generally includes physical and chemical processes. It is not a practical method because it takes longer, and the sample cannot be used again in most cases [2]. With the increasing need for quality analysis of products, the desire to develop more practical analysis methods has gradually increased [3].

Near-infrared spectroscopy (NIRS) is a contactless, relatively inexpensive, and rapid analysis tool for detecting the specifications or quality of subjects [4]. Because of these advantages, it is used in almost every field, especially in food analysis.

The infrared region lies between the visible region and the microwave region in the electromagnetic spectrum, divided into three subgroups: near-infrared, mid-infrared, and far-infrared. The near-infrared region covers wavelengths between 780 nm and 2500 nm ($12821\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$) [5].

Near-infrared spectroscopy is the process of analyzing samples using near-infrared spectrum waves. Waves generated by an electromagnetic wave generator (e.g., light source) are directed to the sample. According to the chemical bonds in the sample structure, it reflects some waves and passes some waves. Reflected or transmitted waves from the sample are collected by a sensor [6]. Thus, the spectrum data of the sample is obtained. If the reflected waves from the sample are collected, it is called reflectance spectroscopy; if the waves passing through the sample are collected, it is called transmittance spectroscopy [7]. Also, there is a third category, namely absorbance spectroscopy. In this type, the spectrum is calculated using transmittance spectrum data with the notion that “waves that do not pass through the object are absorbed”. There are fundamental systemic design differences between the three structures [8].

In spectroscopy studies, every atomic bond does not affect every spectrum region. In the Near-infrared region, mostly overtones or combinations of -CH, -OH, -NH bands are observed [9]. These atomic bonds are common in vegetable and animal food products, containing water components, fat components, and protein structures [10].

Another benefit of NIRS in the food industry is that it helps prevent food fraud [11]. Especially high-priced products are subjected to fraud in order to gain unfair profit. Pereira et al., Mabood et al., Du et al., and Rodionova et al. are examples of such studies [12-15].

A review of chemometrics used in near-infrared spectroscopy has already been done by Roggo et al. [16]. However, this study was conducted 13 years ago, and this study focused on the methods used in pharmaceutical technologies. This review aims to handle near-infrared spectroscopy applications and data analysis methods, especially in the last five years. This review will provide readers with general information about data analysis methods used in NIRS.

2. Material and Method

2.1. Methodology

The literature search was carried out using keywords in academic databases such as IEEE Xplore, ScienceDirect, and Google Scholar. Also, the results were filtered to cover 2016 and later years to concentrate only on current studies. The keywords used are as follows:

“Near-infrared Spectroscopy”, “NIRS in Agriculture”, “Application of NIRS”

The studies obtained from the literature research were pre-examined, and those not related to the agricultural products or food sector were eliminated. After the pre-selection process, 35 studies remained. These studies have been analyzed in detail one by one according to the following questions:

- Which device was used to obtain spectrum data?
- What range of spectral data had been used?
- Which food product was targeted for analysis?
- Which pre-processing techniques were used?
- Which data analysis methods were used?
- Which pre-processing and analysis method combination had shown the most successful performance?
- What was the main conclusion of the study?

2.2. Pre-processing Methods

As mentioned above, NIRS data are acquired through photodiode-based sensors. These sensors generally output as analog signals and are transferred to the computer with the help of analog-digital converter circuits [17]. For this reason, deviations in the signal, called noise, which negatively affects the data analysis, occur during both the measurement phase and the conversion phase. Therefore, the pre-processing of spectral data is the most crucial step before analyzing it.

Pre-processing spectral data before using it, does not always mean that it will positively affect model success. Zhu and Tian [18] applied Savitzky-Golay (SG), standard normal variate (SNV), multiplicative scatter correction (MSC), normalization, 1st derivative and 2nd derivative pre-processing methods to determine the sugar content of Fuji apples, and it was observed that these methods did not give better results than the non-pre-processed condition. Sampaio et al. [19] used different pre-processing methods with PLS, iPLS, siPLS, and mwPLS regression models to determine amylose content in rice. For siPLS, the highest determination coefficient (R_p) was obtained with non-pre-processed spectral data.

In 2009, Rinnan et al. [20] conducted a literature review on pre-processing techniques in NIRS. In this section, the most used pre-processing methods among 35 studies are discussed in more detail.

2.2.1. Multiplicative Scatter Correction

The attenuation of a sample is ideally linearly related to the total absorption coefficient. However, in the presence of the scattering effect, the relationship between attenuation and absorption is nonlinear [21]. Multiplicative scatter correction (MSC) is one of the methods that reduce the scattering effect in

spectral data. MSC is a row-oriented method, and the new value of one data is affected by its horizontal neighbors [22]. First, the mean value is calculated for each data point. The coefficients of the best-fitting curve for each sample's spectrum to this mean value are calculated using the least-squares method [23]. The MSC-treated spectrum data is obtained with the following equation:

$$x_i^{MSC} = \frac{(x_i - a_i)}{b_i} \quad (1)$$

where x_i is i th input row vector, x_i^{MSC} is i th MSE-treated output row vector, a_i and b_i are i th coefficients.

Rebellato et al. [24] applied the MSC and 1st derivative pre-processing method together with the partial least squares regression (PLSR) to assess the mineral content in hamburgers and obtained R^2_{pred} values of 0.72 for potassium, 0.93 for sodium, and 0.96 for calcium. Zhang et al. [25] used the NIRS to rapidly analyze the amount of free anthraquinone and total anthraquinone in rhubarb. Before PLSR and particle swarm optimization based least square support vector machines (PSO-LSSVM) methods, they tried different pre-processing methods that combinations of MSC, standard normal variate (SNV), and Savitzky-Golay (SG) methods. They obtained the most successful result with the combination of MSC and SG. Maestresalas et al. [26] used MSC to classify Lidia breed and foal meat mixed into beef samples and obtained the correct classification rate of 95.24% for Lidia meat and 100% for foal meat.

Although MSC reduces the scattering effect of light on spectral data, the failure to separate the physical light effect from the chemical light effect has led to emerging of the extended multiplicative signal correction (EMSC) method [27]. Quelal-Vásquez et al. [28] applied different methods and combinations as a pre-processing before creating the PLSR model to identify the cocoa shell in cocoa powder and obtained the best result with the EMSC - orthogonal signal correction (OSC) combination. In another study in which EMSC and MSC were used as pre-treatment, EMSC gave more successful results than MSC in protein estimation of weathered sorghum grain samples [29]. Monago-Maraña et al. was used EMSC to classify paprika powder [30].

2.2.2. Standard Normal Variate

Standard normal variate (SNV) is another pre-processing method that reduces the scattering effect in spectral data [31]. In SNV, the data is first centered by subtracting its average from the spectrum data. SNV-treated data is then obtained by dividing by its standard deviation [32]. SNV can be calculated with the following equation:

$$x_{i,j}^{SNV} = \frac{x_{i,j} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (2)$$

where $x_{i,j}$ is input data, $x_{i,j}^{SNV}$ is SNV-treated output data, σ_i is the standard deviation of i th row, \bar{x}_i is mean of the i th row.

Sampaio et al. used the SNV method with other pre-processing methods to determine the amount of rice amylose and obtained the highest R_{pred} value with the combination of SNV – SG [19]. Mabood et al. combined SNV and unit vector normalization (UVN) methods to detect pork meat mixture in different meats and found the R^2_{cal} value as 0.977 [12]. Udompetaikul et al. [33] used the SNV method to analyze the

soluble solids content of sugarcane billets, while Genisheva et al. [34] used the SNV method to analyze volatile compounds in wine. In the study done by Firmani et al. [35], Darjeeling tea was mixed with other teas. The highest correct classification rate was obtained with the combination of SNV, 1st derivative, and mean centering (MC) methods.

2.2.3. Savitzky-Golay Filter

Savitzky and Golay [36] have developed a type of digital smoothing filter known by their name in 1964. In this type of filter, the data set is fitted to a polynomial degree using the least-squares method with the help of convolution. Convolution coefficients to be used in the Savitzky-Golay (SG) filter are predetermined according to the differentiation order and polynomial degree. Luo et al. [37] improved the SG filter to be used for even-numbered data.

SG filter has been used as a pre-processing method in many studies on NIRS. Krepper et al. [38] applied different pre-processing techniques before PLS, iPLS, and iSPA-PLS models to determine fat content in chicken hamburgers. The most successful results were obtained with SG filters for all three methods. Puertas and Vázquez [39] analyzed egg yolk with a UV-VIS-NIR spectrometer to determine cholesterol content. In this study, where different pre-processing methods were used, they obtained the lowest Root Mean Squared Error of Calibration (RMSEC) value by applying SNV and SG pre-processing methods together with the Principle Component Regression (PCR) method. Lu et al. [40] applied five different pre-processing methods and five different modeling methods and their combination for analyzing the moisture content of coconut. They obtained the most successful result for each model with SG pre-processing method. Mishra et al. [41] used SNV and SG methods and PLSR method to improve moisture and SSC prediction in pear.

Apart from the methods mentioned above, other pre-processing methods are as follows: Linear Baseline Correction (LBC or BC) is used if the data graph has a constant base value. Puertas and Vázquez, Mabood et al., Krepper et al., and Femenias et al. used the LBC method in their studies [12, 38, 39, 42]. The orthogonal signal correction (OSC) introduced by Wold et al. [43] aims to delete unrelated orthogonal variations from the dataset, and Quelal-Vásquez et al. [28] have included this method in their work. Ning et al. [44] have used continuous wavelet transform (CWT) as a pre-treatment method. Mabood et al. [12] have applied unit vector normalization (UNV) with SNV to minimize the scattering effect. Mean centering (MC) provides that the dataset has zero mean, which is done by subtracting the mean value of the dataset from the dataset. MC was used in López-Maestresalas et al. and Yuan et al. [26, 45]. De-trending (DT) is a method used to correct baseline changes and curvilinear spectrum patterns. DT was used as a pre-processing method in López-Maestresalas et al. and Samadi et al. [26, 46]. Du et al. [14] were used Norris derivative as a pre-processing method to detect adulteration of different oils in camellia oil. Also, meaning average filter was used as a pre-processing method in Bahrami et al. and Udompetaikul et al. [33, 47].

Figure 1 shows the pre-treatment methods and usage frequencies used in 35 studies. MSC, SNV, and SG have been the most commonly used pre-processing methods in the studies. When we compare the pre-processing methods used in the latest studies, it is clear that there is no successful method in all spectral data. For this purpose, different pre-processing methods

and their different combinations have been applied in many studies, and the most successful method has been preferred.

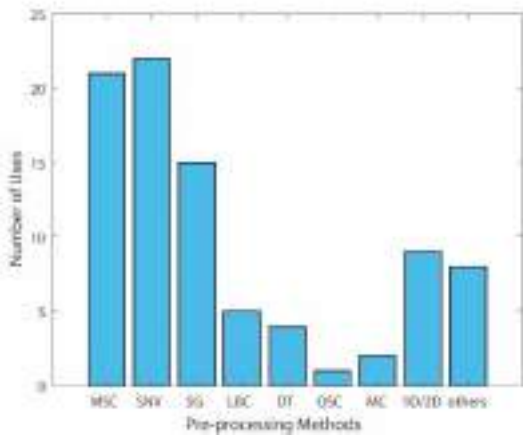


Figure 1. Pre-processing methods and frequency of use

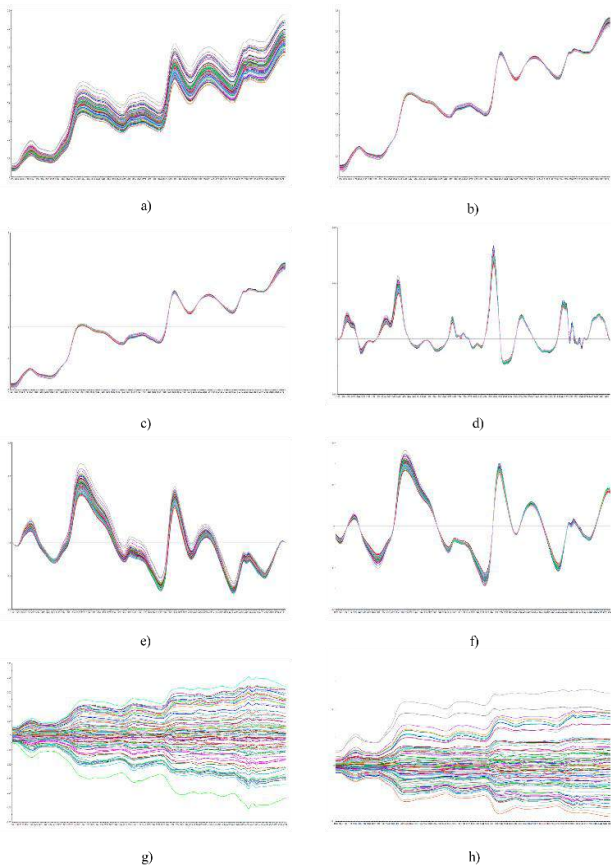


Figure 2. Data set of 80 corn samples measured between 1100-2498 nm wavelengths are taken from (<https://eigenvector.com/resources/data-sets>); unprocessed spectrum graph (a), pre-processed with MSC (b), SNV (c), SG (d), LBC (e), DT (f), OSC (g), MC (h).

In Figure 2, MSC, SNV, SG, LBC, DT, OSC, and MC pre-processing methods were applied on the corn data set taken from (<https://eigenvector.com/resources/data-sets>) [48], and the obtained spectrum graphics were given in Figure 1 (b), (c), (d), (e), (f), and (g), respectively. When Figure 1 is examined, it is

very clearly seen that the uncertain details in the original spectrum graph appear after pre-processing.

2.3. Data Analysis Methods

In NIRS systems, it is almost impossible to extract information directly from the sensor's data. For this reason, data analysis methods are used to classify and analyze using spectral data [49]. These methods are also called chemometric methods. In this section, the most used chemometric methods among 35 studies are discussed in more detail.

2.3.1. Multiple Linear Regression

Multi Linear Regression (MLR) is a statistical method that tries to predict a variable using other variables. It is an extended version of the classical linear regression for multiple variables [50]. MLR aims to establish a linear connection between input variables and output variables, as in linear regression. MLR can be calculated with the following equation:

$$y_i = \alpha + \beta_1 * x_{i,1} + \beta_2 * x_{i,2} + \dots + \beta_n * x_{i,n} \quad (3)$$

where y_i is predicted value (output variable), x_i is input variables, α is the intercept of the fitted line, β_n is slopes. One of the success criteria of the model created with MLR is the coefficient of determination (R^2). R^2 value is a parameter that shows how much of the variation in the output variable is explained by the input parameters [51]. While R^2 value can take a value between 0 and 1, 0 indicates that the output value is entirely independent of the input variables, and 1 indicates that the actual value of the output variable can be calculated precisely with the input variables. However, R^2 increases as the number of input variables increase even if it is not related to the output variable. This situation reduces the reliability of the R^2 . For this purpose, together with R^2 , the p-value is used as a success criterion [52].

Wang et al. used MLR method after Successive Projection Algorithm (SPA) and Competitive Adaptive Reweighted Sampling (CARS) methods to evaluate black tea's taste attributes [53]. They found the highest Rp value for the bitterness of tea as 0.9437 with CARS-MLR. Huang et al. developed models with PLSR and MLR to determine the four main catechins and caffeine amounts, which are the most significant factors determining tea quality [54]. With the MLR model, better results were obtained for five parameters. Yuan et al. applied PLS and MLR regression models and their deviation fusion to analyze "Yunhe" pears attribute with NIRS, and as a result, they obtained a successful result with Rp value of 0.9026 [45]. Berhow et al. applied SG pre-processing method to the spectral data created to determine the isoflavone and saponin content of ground soybeans and modeled them with MLR. They have obtained promising results, especially in determining the number of isoflavones [55].

Another version of MLR modeling is Step-Wise Multiple Linear Regression (SMLR). In SMLR, MLR is applied to the data set multiple times. The least correlated input variable is removed each time. In this way, it continues until the highest R^2 value is achieved [51]. In Shen et al., SMLR method was employed to establish aflatoxin quantification models [56].

2.3.2. Partial Least Squares Regression

The partial least squares regression (PLSR) method is a technique that combines the basic features of the principal

component analysis (PCA) and MLR methods [57]. It is beneficial in datasets where the number of observations is well below the number of the features [58]. It is a method frequently used in different branches of science.

Huang et al. analyzed the acoustic firmness, impact firmness, compression area, and puncture parameters of tomatoes using VIS / SWNIR and NIR spectrometers using PLS regression [59]. It was observed that the model created in the VIS / SWNIR region gave more successful results than the NIR region. Deng et al. analyzed the protein, carbohydrate, energy, and fat content of medical foods using the model they developed with PLSR [60]. In Shen et al. [56], successful results were obtained by obtaining R_p values between 0.922 and 0.973 thanks to the model created to determine the amount of aflatoxins in brown rice that causes cancer. Mabood et al. used the PLSR model to determine adulteration in camel milk with goat milk and obtained the R^2 value as 0.94 [61]. Das et al. combined PCA and PLSR methods with different machine learning methods for salinity stress phenotyping of rice [62]. As a result of their study, they obtained the performance of the methods as PLSR-combined > PCA-combined. Udompetaikul et al. used NIRS to determine the soluble solids contents of sugar cane with an on-line system on the conveyor and obtained the R^2 value as 0.805 in the test set with the PLSR model [33]. Maraphum et al. used the PLSR method to measure the starch content of cassava tubers [63]. Measurements can be made in the field with the system they have created. Genis et al. used the PLSR method to detect spinach and green pea adulteration in pistachio, a type of nuts common in Turkey, and obtained R^2 value of over 99% [64]. Yang et al. were designed a portable system to detect the main compositions of milk samples [65]. They used SG, MSC, SNV, and 2D pre-processing methods and PLSR method to establish a reliable method. Yi et al. used modified partial least squares (MPLS), a variant of PLS, to predict the chemical composition of the walnut kernel [66]. Bahrami et al. used PLSR method with SNV, mean average (MA), and area normalization (AN) pre-processing methods to measure quality parameters of sugar beet juices [47].

2.3.3. Principal Component Regression

Although PLSR is a suitable modeling method for many spectral data, especially if the independent variables have a high correlation with each other, this negatively affects the regression coefficients [67]. This situation is called the collinearity problem. One method that gives more successful results in such datasets is Principal Component Regression (PCR) [68]. The PCR method is formed by the application of PCA and LSR methods together. First of all, the principal components of the spectral data are extracted with the PCA method. The ones that show the most variance in data are selected among these principal components, and the regression model is created using these principal components.

Puertas and Vázquez applied the PCR method and the PLS method to determine the amount of cholesterol in the egg yolk and generally obtained more successful results with the PLS method [39]. Samadi et al. analyzed nutritive parameters in feed using PCR [46]. They obtained R^2 value 0.83 for the Neutral Detergent Fibre (NDF) parameter and 0.867 for Acid Detergent Fibre (ADF) parameter with pre-processed spectral data.

2.3.4. Support Vector Machine

The support vector machine (SVM) can be defined as a vector space-based machine learning method that finds a decision boundary between the two furthest classes from any point in the training data. SVM is a technique developed by Vapnik et al., and is frequently used, especially in classification problems [69].

Dankowska and Kowalewski classified different tea types using QDA, SVM, RDA, and LDA in synchronous fluorescence, UV-Vis, and NIR spectra [70]. In the classification made using the fusion of all spectra, all methods correctly classified all samples. The correct classification rate was obtained in individual tests with the SVM method as 93.3%, but the most successful result was obtained with QDA.

SVM is used not only for classification problems but also for regression. This method, called Support Vector Machine Regression (SVMR), contains all the main features of SVM. SVMR was proposed in 1996 by Drucker et al. [71]. In SVMR, unlike classical regression, instead of the best fit line, an interval containing an acceptable error is obtained. Ning et al. used NIRS to identify pit mud properties that determine the quality of Chinese liquor [44]. First of all, they classified new and aged soil using four different methods, including SVM. Prediction accuracy was found as 100%. Then, they determined total carbon, total nitrogen, and total phosphorus in pit mud with high accuracy with SVR and PLSR. Das et al. analyzed the salt tolerance of rice phenotypes with VIS / NIRS to increase the yield of salty soils [62]. They applied different methods for data analysis, such as indices-based, PLSR-combined, and PCA-combined. It has been observed that the most successful result of the SVMR method, which is one of the methods they use, is given when combined with PLSR.

Suykens and Vandewalle proposed another version of SVM; the least squares support vector machines (LS-SVM) [72]. With this method, unlike the classical SVM method, the solution is found using a linear equation set instead of the quadratic programming problem for two-class applications. Yang et al. combined synchronous, asynchronous NIR-MIR spectroscopy and their fusion with LS-SVM to discriminate sesame oil adulterated with corn oil [73]. They obtained correct classification rates as 98.1% and 100% for the calibration and prediction set, respectively.

2.3.5. Linear Discriminant Analysis

Linear Discriminant Analysis (LDA) is a method used for dimensionality reduction [74]. Although its primary goal is similar to PCA, LDA's purpose is to determine the optimum new axis that maximizes the distance between different categories and minimizes the variance of the categories. Shen et al. used NIR and MIR regions to detect aflatoxin, a carcinogenic substance in brown rice [56]. In the study in which LDA was used as the classification technique, an average accuracy of 96.9% was obtained with NIR spectral data. One of the areas where NIRS benefits is food adulteration. De Girolamo et al. did one of the case studies for this purpose [11]. They analyzed durum wheat pasta adulteration with common wheat using LDA and PLS-DA. They classified the pasta samples. They divided into three groups with 95% accuracy using LDA.

2.3.6. Partial Least Squares Discriminant Analysis

Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) is a variant of PLSR dedicated to classification problems [75].

López-Maestresalas et al. were used PLS-DA to detect adulteration of minced lamb and beef with different meat types [26]. Moscetti et al. were utilized NIRS and image analysis to discriminate pine nuts from different geographic origins [75]. In the NIRS part of the study, they obtained an accuracy value of over 96% with PLS-DA. Firmani et al. used PLS-DA after 1D, 2D, MC, and SNV pre-processing methods, and the least average classification error was obtained as 4.55% [35].

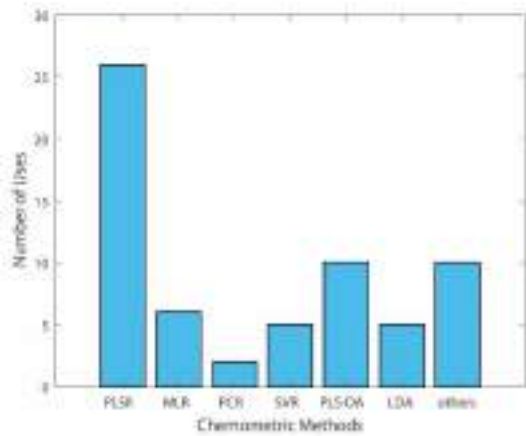


Figure 3. Chemometrics and frequency of use

The classification and analysis methods used in 35 studies are given in figure 3. When figure 3 is examined, it is seen that at least one of the PLSR and PLS-DA methods was used in 88% of the studies.

3. Results and Discussion

3.1. Performance Metrics

The authors used different metrics to determine the success rates of the created models. A list of these metrics with their definitions is given in table 1. RPD has been the most popular metric among 35 studies.

3.2. Spectrum Range Analysis

The spectrum ranges of the 35 studies are combined and given in figure 4. Only wavelengths between 300nm and 2500nm are included when forming the figure. When figure 4 is examined, it is seen that approximately 85% of the studies included 1000-1650 nm wavelengths, and approximately 65% of them included 1650-2500 nm wavelengths. Although analyzing in a wider spectrum increases the success rate as it contains more information, instrumentation costs are also increasing. In the SWNIR region (750-1100nm), Si photodiodes are used as a detector, much more affordable than InGaAs photodiodes. However, as shown in figure 4, only 45% of the studies were carried out in the SWNIR region. The main reason for this can be said that the atomic bonds that makeup food products generally have meaningful data around 1400, 1600, 1750, and 2300 nm [10].

3.3. Software

Data obtained from NIRS systems have to be analyzed using different methods. Nowadays, with the development of the software industry, these tasks are performed using popular software. The software used in the pre-processing and chemometric processes of the 35 studies is shown in figure 5.

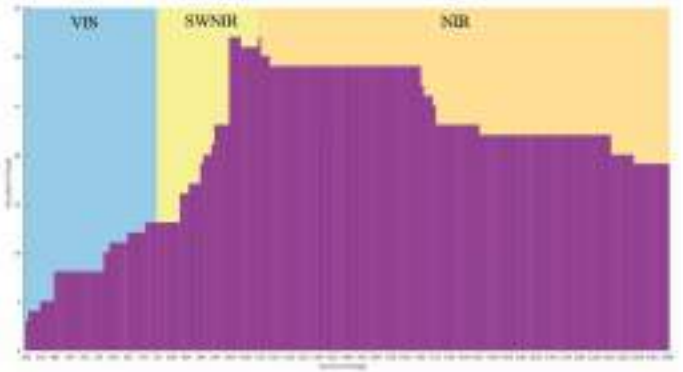


Figure 4. Spectral ranges of 35 studies

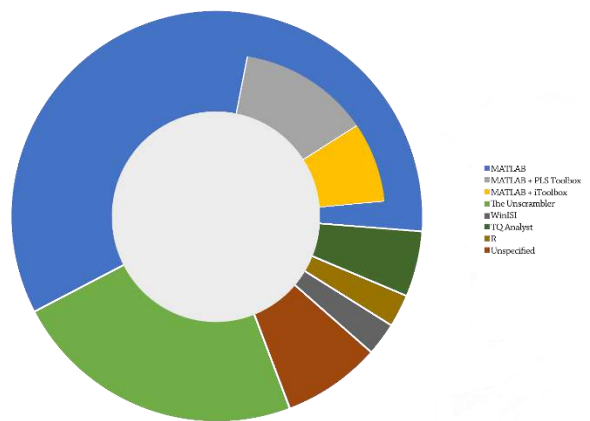


Figure 5. Software tools used for data analysis

When figure 5 is examined, it is seen that the most popular software used is MATLAB (Mathworks Inc., Natick, MA, USA) with a ratio of 60%. Also, PLS_Toolbox (Eigenvector Research Inc., WA, USA), and iToolbox (<http://www.models.life.ku.dk/itoolbox>) toolboxes provided by different companies or researchers with MATLAB were used. The second most used software was Unscrambler (Camo, Process, AS, Oslo, Norway) with a 24% usage rate. Other software used are WinISI (Infrasoft International, Port Matilda, PA, USA), TQ Analyst (Thermo Electron Corp., Madison, WI, USA), and R (cran.r-project.org/bin/windows/base/old/3.4.1).

4. Conclusions and Recommendations

In this review, data pre-processing and chemometric methods used in NIRS systems in recent years were examined. A summary of the reviewed 35 studies is presented in Table 2. It has been seen that although different pre-processing techniques have been used to eliminate the distortions in the spectrum data, no method can be called the best. In many studies, different pre-processing methods and their combinations have been applied. As the chemometric method, it has been seen that the PLS-DA method was the most commonly used in classification problems and the PLSR method in regression problems. The main reasons for this can be said that both are easy to perform and have high accuracy.

It has also been seen that artificial intelligence and deep learning, which are popular research areas today, have not been used much in NIRS systems.

solving various food problems involving adulteration, food quality. With this review, researchers will be able to examine the pre-processing and chemometric methods used in recent years and shape their studies.

Our aim is that this review would motivate more researchers to experiment with near-infrared spectroscopy, applying it for

Table 1. Summary of performance metrics

Metric	Symbol	Formula	Description
Root Mean Square Error of Calibration	RMSEC	$\sqrt{\frac{1}{N_{cal}} \sum_{i=1}^{N_{cal}} (y_{cal,i} - \hat{y}_{cal,i})^2}$	RMSEC equals the root of the mean square of the difference between the actual and obtained values in the calibration set. The closer the RMSEC value to zero, the better.
Root Mean Square Error of Prediction	RMSEP	$\sqrt{\frac{1}{N_{pred}} \sum_{i=1}^{N_{pred}} (y_{pred,i} - \hat{y}_{pred,i})^2}$	RMSEP equals the root of the mean square of the difference between the actual and obtained values in the prediction set. The closer the RMSEC value to zero, the better.
The correlation coefficient of calibration	Rc	$\frac{\sum_{i=1}^{N_{cal}} [(y_{cal,i} - \bar{y}_{cal,i}) * (\hat{y}_{cal,i} - \bar{\hat{y}}_{cal,i})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_{cal}} (y_{cal,i} - \bar{y}_{cal,i})^2 * \sum_{i=1}^{N_{cal}} (\hat{y}_{cal,i} - \bar{\hat{y}}_{cal,i})^2}}$	Rc corresponds to how much obtained values correlated to actual values in the calibration set. It may have values between -1 to 1; higher is better.
The correlation coefficient of prediction	Rp	$\frac{\sum_{i=1}^{N_{pred}} [(y_{pred,i} - \bar{y}_{pred,i}) * (\hat{y}_{pred,i} - \bar{\hat{y}}_{pred,i})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_{pred}} (y_{pred,i} - \bar{y}_{pred,i})^2 * \sum_{i=1}^{N_{pred}} (\hat{y}_{pred,i} - \bar{\hat{y}}_{pred,i})^2}}$	Rp corresponds to how much obtained values correlated to actual values in the prediction set. It may have values between -1 to 1; higher is better.
The ratio of performance to deviation	RPD	$\frac{\sigma}{SEP}$	RPD is calculated by dividing the standard deviation to the standard error of prediction. RPD can be interpreted this way: it is suitable for screening if RPD>3, suitable for quality control if RPD>5, suitable for analytical tasks if RPD>8 [76].
The coefficient of determination	R ²	$\frac{\text{Explained variation}}{\text{Total variation}}$	R ² corresponds to how the independent variables explain much variation of a dependent variable. R ² can take a value between 0 and 1, 1 means that all the output variable variation is fully explained using input variables.
Correct classification ratio	CCR	$\% \frac{\text{Correctly classified samples}}{\text{Total samples}}$	CCR shows as a percentage of how many samples were correctly classified.
Sensitivity	Sens	$\frac{TP}{TP + FN}$	Sensitivity is the proportion of true positives among all positives.

N_{cal} , the number of samples for calibration; N_{pred} , the number of samples for prediction; TP, true positive; FN, false negative; $y_{cal,i}$, the real value of i th sample for calibration set; $y_{pred,i}$, the real value of i th sample for prediction set; $\hat{y}_{cal,i}$, the calculated value of i th sample for calibration set; $\hat{y}_{pred,i}$, the calculated value of i th sample for prediction set; σ , standard deviation; SEP, standard error of prediction.

References

- [1] Grunert KG. Food quality and safety: Consumer perception and demand. *European Review of Agricultural Economics* 2005:32, 369-391, doi: <https://doi.org/10.1093/eurrag/jbi011>.
- [2] Rajput H, Rehal J, Goswami D Mandge HM. Methods for food analysis and quality control. In *State-of-the-art technologies in food science*; ed.; Eds; 2017; 396.
- [3] Porep JU, Kammerer DR Carle R. On-line application of near infrared (nir) spectroscopy in food production. *Trends in Food Science & Technology* 2015:46, 211-230, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.10.002>.
- [4] Johnson JB Naiker M. Seeing red: A review of the use of near-infrared spectroscopy (nirs) in entomology. *Applied Spectroscopy Reviews* 2019:55, 810-829, doi: <https://doi.org/10.1080/05704928.2019.1685532>.
- [5] Salzer R. Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy. By jerry workman, jr. And lois weyer; 2008.
- [6] Dix LML, van Bel F, Baerts W Lemmers PMA. Comparing near-infrared spectroscopy devices and their sensors for monitoring regional cerebral oxygen saturation in the neonate. *Pediatric Research* 2013:74, 557-563, doi: <https://doi.org/10.1038/pr.2013.133>.

- [7] Woolley JT. Reflectance and transmittance of light by leaves. *Plant Physiology* 1971;47, 656-662, doi: <https://doi.org/10.1104/pp.47.5.656>.
- [8] Siesler HW, Ozaki, Y., Kawata, S., Heise, H.M. *Near-infrared spectroscopy: Principles, instruments, applications*; WILEY-VCH Verlag GmbH: 2001.
- [9] *Handbook of near-infrared analysis*; Burns DA Ciurczak EW. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- [10] Petisco C, García-Criado B, Vázquez-de-Aldana BR, de Haro A García-Ciudad A. Measurement of quality parameters in intact seeds of brassica species using visible and near-infrared spectroscopy. *Industrial Crops and Products* 2010;32, 139-146, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.04.003>.
- [11] De Girolamo A, Arroyo MC, Cervellieri S, Cortese M, Pascale M, Logrieco AF Lippolis V. Detection of durum wheat pasta adulteration with common wheat by infrared spectroscopy and chemometrics: A case study. *LWT* 2020;127, 109368, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109368>.
- [12] Mabood F, Boqué R, Alkindi AY, Al-Harrasi A, Al Amri IS, Boukra S, Jabeen F, Hussain J, Abbas G, Naureen Z et al. Fast detection and quantification of pork meat in other meats by reflectance ft-nir spectroscopy and multivariate analysis. *Meat Science* 2020;163, 108084, doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108084>.
- [13] Pereira EVdS, Fernandes DDdS, de Araújo MCU, Diniz PHGD Maciel MIS. Simultaneous determination of goat milk adulteration with cow milk and their fat and protein contents using nir spectroscopy and pls algorithms. *LWT* 2020;127, 109427, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109427>.
- [14] Du Q, Zhu M, Shi T, Luo X, Gan B, Tang L Chen Y. Adulteration detection of corn oil, rapeseed oil and sunflower oil in camellia oil by in situ diffuse reflectance near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Control* 2021;121, 107577, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107577>.
- [15] Rodionova OY, Fernández Pierna JA, Baeten V Pomerantsev AL. Chemometric non-targeted analysis for detection of soybean meal adulteration by near infrared spectroscopy. *Food Control* 2021;119, 107459, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107459>.
- [16] Roggo Y, Chalus P, Maurer L, Lema-Martinez C, Edmond A Jent N. A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 2007;44, 683-700, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2007.03.023>.
- [17] Pinheiro PP, Santos JCFD França MBDM. Development, testing, and validation of a prototype for qualification of substances based on near-infrared spectroscopy. *IEEE Access* 2019;7, 25650-25659, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2900800>.
- [18] Zhu G Tian C. Determining sugar content and firmness of 'fuji' apples by using portable near-infrared spectrometer and diffuse transmittance spectroscopy. *Journal of Food Process Engineering* 2018;41, e12810, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12810>.
- [19] Sampaio PS, Soares A, Castanho A, Almeida AS, Oliveira J Brites C. Optimization of rice amylose determination by nir-spectroscopy using pls chemometrics algorithms. *Food Chemistry* 2018;242, 196-204, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.058>.
- [20] Rinnan Å, Berg Fvd Engelsen SB. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 2009;28, 1201-1222, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.07.007>.
- [21] Lu B, Morgan SP, Crowe JA Stockford IM. Comparison of methods for reducing the effects of scattering in spectrophotometry. *Applied Spectroscopy* 2006;60, 1157-1166, doi: <https://doi.org/10.1366/000370206778664725>.
- [22] Maleki MR, Mouazen AM, Ramon H De Baerdemaeker J. Multiplicative scatter correction during on-line measurement with near infrared spectroscopy. *Biosystems Engineering* 2007;96, 427-433, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.11.014>.
- [23] Chen JY, Iyo C, Terada F Kawano S. Effect of multiplicative scatter correction on wavelength selection for near infrared calibration to determine fat content in raw milk. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 2002;10, 301-307, doi: <https://doi.org/10.1255/jnirs.346>.
- [24] Rebellato AP, Caramês ETdS, Moraes Ppd Pallone JAL. Minerals assessment and sodium control in hamburger by fast and green method and chemometric tools. *LWT* 2020;128, 109438, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109438>.
- [25] Zhang S, Ma H, Pan H, Shao Q, Liu X Wu Y. Quantitative real-time release testing of rhubarb based on near-infrared spectroscopy and method validation. *Vibrational Spectroscopy* 2019;104, 102964, doi: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2019.102964>.
- [26] López-Maestresalas A, Insausti K, Jarén C, Pérez-Roncal C, Urrutia O, Beriain MJ Arazuri S. Detection of minced lamb and beef fraud using nir spectroscopy. *Food Control* 2019;98, 465-473, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.003>.
- [27] Martens H, Nielsen JP Engelsen SB. Light scattering and light absorbance separated by extended multiplicative signal correction. Application to near-infrared transmission analysis of powder mixtures. *Analytical Chemistry* 2003;75, 394-404, doi: <https://doi.org/10.1021/ac020194w>.
- [28] Quelal-Vásquez MA, Lerma-García MJ, Pérez-Esteve É, Arnau-Bonachera A, Barat JM Talens P. Fast detection of cocoa shell in cocoa powders by near infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Food Control* 2019;99, 68-72, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.028>.
- [29] Peiris KHS, Bean SR Jagadish SVK. Extended multiplicative signal correction to improve prediction accuracy of protein content in weathered sorghum grain samples. *Cereal Chemistry* n/a, doi: <https://doi.org/10.1002/cche.10329>.
- [30] Monago-Maraña O, Eskildsen CE, Galeano-Díaz T, Muñoz de la Peña A Wold JP. Untargeted classification for paprika powder authentication using visible – near infrared spectroscopy (vis-nirs). *Food Control* 2021;121, 107564, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107564>.
- [31] Barnes RJ, Dhanoa MS Lister SJ. Correction to the description of standard normal variate (snv) and de-trend (dt) transformations in practical spectroscopy with applications in food and beverage analysis—2nd edition. *NIR news* 1994;5, 6-6, doi: <https://doi.org/10.1255/nirn.248>.
- [32] Zeaiter M Rutledge D. Preprocessing methods. In *Comprehensive chemometrics*; 1st ed.; Brown, S. D., Tauler, R., Walczak, B., Eds; Elsevier, 2009; 121-231.
- [33] Udompetaikul V, Phetpan K Sirisomboon P. Development of the partial least-squares model to determine the soluble

- solids content of sugarcane billets on an elevator conveyor. *Measurement* 2021:167, 107898, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107898>.
- [34] Genisheva Z, Quintelas C, Mesquita DP, Ferreira EC, Oliveira JM Amaral AL. New pls analysis approach to wine volatile compounds characterization by near infrared spectroscopy (nir). *Food Chemistry* 2018:246, 172-178, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.015>.
- [35] Firmani P, De Luca S, Bucci R, Marini F Biancolillo A. Near infrared (nir) spectroscopy-based classification for the authentication of darjeeling black tea. *Food Control* 2019:100, 292-299, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.02.006>.
- [36] Savitzky A Golay MJE. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry* 1964:36, 1627-1639, doi: <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>.
- [37] Luo J, Ying K Bai J. Savitzky–golay smoothing and differentiation filter for even number data. *Signal Processing* 2005:85, 1429-1434, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2005.02.002>.
- [38] Krepper G, Romeo F, Fernandes DDdS, Diniz PHGD, de Araújo MCU, Di Nezio MS, Pistonesi MF Centurión ME. Determination of fat content in chicken hamburgers using nir spectroscopy and the successive projections algorithm for interval selection in pls regression (ispa-pls). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2018:189, 300-306, doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.08.046>.
- [39] Puertas G Vázquez M. Cholesterol determination in egg yolk by uv-vis-nir spectroscopy. *Food Control* 2019:100, 262-268, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.01.031>.
- [40] Lu B, Wang X, Liu N, He K, Wu K, Li H Tang X. Feasibility of nir spectroscopy detection of moisture content in coco-peat substrate based on the optimization characteristic variables. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2020:239, 118455, doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118455>.
- [41] Mishra P, Woltering E, Brouwer B Hogeveen-van Echtelt E. Improving moisture and soluble solids content prediction in pear fruit using near-infrared spectroscopy with variable selection and model updating approach. *Postharvest Biology and Technology* 2021:171, 111348, doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111348>.
- [42] Femenias A, Gatiús F, Ramos AJ, Sanchis V Marín S. Near-infrared hyperspectral imaging for deoxynivalenol and ergosterol estimation in wheat samples. *Food Chemistry* 2021:341, 128206, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128206>.
- [43] Wold S, Antti H, Lindgren F Öhman J. Orthogonal signal correction of near-infrared spectra. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 1998:44, 175-185, doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(98\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(98)00109-9).
- [44] Ning Y, Zhang H, Zhang Q Zhang X. Rapid identification and quantitative pit mud by near infrared spectroscopy with chemometrics. *Vibrational Spectroscopy* 2020:110, 103116, doi: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103116>.
- [45] Yuan L-M, Mao F, Chen X, Li L Huang G. Non-invasive measurements of ‘yunhe’ pears by vis-nirs technology coupled with deviation fusion modeling approach. *Postharvest Biology and Technology* 2020:160, 111067, doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111067>.
- [46] Samadi, Wajizah S Munawar AA. Near infrared spectroscopy (nirs) data analysis for a rapid and simultaneous prediction of feed nutritive parameters. *Data in Brief* 2020:29, 105211, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105211>.
- [47] Bahrami ME, Honarvar M, Ansari K Jamshidi B. Measurement of quality parameters of sugar beet juices using near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Journal of Food Engineering* 2020:271, 109775, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109775>.
- [48] <https://eigenvector.com/resources/data-sets/>
- [49] Wold S. Chemometrics; what do we mean with it, and what do we want from it? *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 1995:30, 109-115, doi: [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(95\)00042-9](https://doi.org/10.1016/0169-7439(95)00042-9).
- [50] Mark H Workman J. Chapter 4 - matrix algebra and multiple linear regression: Part 1. In *Chemometrics in spectroscopy* (second edition); ed.; Mark, H., Workman, J., Eds; Academic Press, 2018; 27-35.
- [51] Riffenburgh RH Gillen DL. 16 - multiple linear and curvilinear regression and multifactor analysis of variance. In *Statistics in medicine* (fourth edition); ed.; Riffenburgh, R. H., Gillen, D. L., Eds; Academic Press, 2020; 391-435.
- [52] Fritz M Berger PD. Chapter 10 - can you relate in multiple ways? *Multiple linear regression and stepwise regression. In Improving the user experience through practical data analytics*; ed.; Fritz, M., Berger, P. D., Eds; Morgan Kaufmann, 2015; 239-269.
- [53] Wang Y-J, Li T-H, Li L-Q, Ning J-M Zhang Z-Z. Evaluating taste-related attributes of black tea by micro-nirs. *Journal of Food Engineering* 2021:290, 110181, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110181>.
- [54] Huang Y, Dong W, Sanaeifar A, Wang X, Luo W, Zhan B, Liu X, Li R, Zhang H Li X. Development of simple identification models for four main catechins and caffeine in fresh green tea leaf based on visible and near-infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture* 2020:173, 105388, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105388>.
- [55] Berhow MA, Singh M, Bowman MJ, Price NPJ, Vaughn SF Liu SX. Quantitative nir determination of isoflavone and saponin content of ground soybeans. *Food Chemistry* 2020:317, 126373, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126373>.
- [56] Shen F, Wu Q, Shao X Zhang Q. Non-destructive and rapid evaluation of aflatoxins in brown rice by using near-infrared and mid-infrared spectroscopic techniques. *Journal of Food Science and Technology* 2018:55, 1175-1184, doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3033-1>.
- [57] Abdi H Williams LJ. Partial least squares methods: Partial least squares correlation and partial least square regression. In *Computational toxicology: Volume ii*; ed.; Reisfeld, B., Mayeno, A. N., Eds; Humana Press, 2013; 549-579.
- [58] Guebel DV Torres NV. Partial least-squares regression (pls-r). In *Encyclopedia of systems biology*; ed.; Dubitzky, W., Wolkenhauer, O., Cho, K.-H., Yokota, H., Eds; Springer New York, 2013; 1646-1648.
- [59] Huang Y, Lu R Chen K. Prediction of firmness parameters of tomatoes by portable visible and near-infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering* 2018:222, 185-198, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.030>.
- [60] Deng Y, Wang Y, Zhong G Yu X. Simultaneous quantitative analysis of protein, carbohydrate and fat in

- nutritionally complete formulas of medical foods by near-infrared spectroscopy. *Infrared Physics & Technology* 2018:93, 124-129, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.07.027>.
- [61] Mabood F, Jabeen F, Ahmed M, Hussain J, Al Mashaykhi SAA, Al Rubaiey ZMA, Farooq S, Boqué R, Ali L, Hussain Z et al. Development of new nir-spectroscopy method combined with multivariate analysis for detection of adulteration in camel milk with goat milk. *Food Chemistry* 2017:221, 746-750, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.109>.
- [62] Das B, Manohara KK, Mahajan GR, Sahoo RN. Spectroscopy based novel spectral indices, pca- and pls-coupled machine learning models for salinity stress phenotyping of rice. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2020:229, 117983, doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117983>.
- [63] Maraphum K, Saengprachatanarug K, Wongpichet S, Phuphaphud A, Posom J. In-field measurement of starch content of cassava tubers using handheld vis-near infrared spectroscopy implemented for breeding programmes. *Computers and Electronics in Agriculture* 2020:175, 105607, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105607>.
- [64] Genis HE, Durna S, Boyaci IH. Determination of green pea and spinach adulteration in pistachio nuts using nir spectroscopy. *LWT* 2021:136, 110008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110008>.
- [65] Yang B, Zhu Z, Gao M, Yan X, Zhu X, Guo W. A portable detector on main compositions of raw and homogenized milk. *Computers and Electronics in Agriculture* 2020:177, 105668, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105668>.
- [66] Yi J, Sun Y, Zhu Z, Liu N, Lu J. Near-infrared reflectance spectroscopy for the prediction of chemical composition in walnut kernel. *International Journal of Food Properties* 2017:20, 1633-1642, doi: <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1217006>.
- [67] Næs T, Martens H. Principal component regression in nir analysis: Viewpoints, background details and selection of components. *Journal of Chemometrics* 1988:2, 155-167, doi: <https://doi.org/10.1002/cem.1180020207>.
- [68] Mandel J. Use of the singular value decomposition in regression analysis. *The American Statistician* 1982:36, 15-24, doi: <https://doi.org/10.2307/2684086>.
- [69] Smola AJ, Schölkopf B. A tutorial on support vector regression. *Statistics and Computing* 2004:14, 199-222, doi: <https://doi.org/10.1023/B:STCO.0000035301.49549.88>.
- [70] Dankowska A, Kowalewski W. Tea types classification with data fusion of uv-vis, synchronous fluorescence and nir spectroscopies and chemometric analysis. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2019:211, 195-202, doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.11.063>.
- [71] Drucker H, Burges CJC, Kaufman L, Smola AJ, Vapnik V. Support vector regression machines. *Advances in Neural Information Processing Systems* 1997:9, 155-161, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1018628609742>.
- [72] Suykens JAK, Vandewalle J. Least squares support vector machine classifiers. *Neural Processing Letters* 1999:9, 293-300, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1018628609742>.
- [73] Yang R, Dong G, Sun X, Yang Y, Liu H, Du Y, Jin H, Zhang W. Discrimination of sesame oil adulterated with corn oil using information fusion of synchronous and asynchronous two-dimensional near-mid infrared spectroscopy. *European Journal of Lipid Science and Technology* 2017:119, 1600459, doi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600459>.
- [74] Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. *The elements of statistical learning*; Springer: California, 2009.
- [75] Moschetti R, Berhe DH, Agrimi M, Haff RP, Liang P, Ferri S, Monarca D, Massantini R. Pine nut species recognition using nir spectroscopy and image analysis. *Journal of Food Engineering* 2021:292, 110357, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110357>.
- [76] Ritthiruangdej P, Ritthiron R, Shinzawa H, Ozaki Y. Non-destructive and rapid analysis of chemical compositions in thai steamed pork sausages by near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry* 2011:129, 684-692, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.110>.

Table 2: Summary of the reviewed studies

Ref	Device/ Spectral Range	Sample	Pre-treatment method	Method	Goal	Best combination	Results						
							Rc	Rp	RMSEC	RMSEP	RPD	R ²	CCR Acc	Sens.
[53]	NIR-S-R2 950–1650 nm	Black Tea	SPA, CARS	PLSR, MLR	Bitterness	CARS-MLR	0.9330	0.9437	0.5012	0.5058	3.07		
					Astringency	CARS-PLSR	0.8779	0.9119	0.5650	0.5410	2.28		
					Caffeine	CARS-PLSR	0.9517	0.9509	2.7200	3.1300	3.29		
					EGCG	CARS-PLSR	0.9117	0.9387	2.0500	1.7400	2.91		
[54]	XDS 400-2498 nm	Green Tea	SG, SNV, MSC, CARS, SPA	PLSR, MLR	Epigallocatechin gallate	MLR	0.964	0.949	1.777	2.146			
					Epicatechin gallate	MLR	0.923	0.893	1.168	1.389			
					Epigallocatechin	MLR	0.967	0.968	1.143	1.137			
					Epicatechin	MLR	0.943	0.931	0.379	0.421			
					Caffeine	PLSR	0.922	0.918	0.810	0.828			
[45]	VIS-NIR scan Nano 590-1091nm	Pears	de-MC, MSC, SNV, 1st Derivative	PLSR, MLR	Soluble solids content	0.9077*PLS + 0.0923*MLR	0.9067	0.9026	0.52	0.59			
[55]	FOSS XDS 400-2498 nm	Ground Soybean	SG, SPA, siPLS, UVE	MLR	Total daidzein forms				0.206	0.288	2.01	0.78	
					Total glycitein forms				0.083	0.108	0.93	0.34	
					Total genistein forms	SG+MLR			0.280	0.350	1.80	0.75	
					Total isoflavones				0.407	0.616	2.06	0.80	
					Total saponins				1.342	1.750	0.63	0.58	
[40]	Flame NIR 940-1660 nm	Cocopeat substrate	SG, SNV, MSC, PCA	PLSR, MLR	Moisture	SG (2D) + MLR + SPA	0.9976	0.9963	1.0989	1.4029	11.28		
[39]	V-670 190-2500 nm	Egg yolk	SNV, MSC, SG, BC, DT	PLSR, PCR	Cholesterol	SG + BC + PLSR	0.93	0.88	0.6	0.82	2.85		
[46]	Thermo Nicolet Antaris II 1000-2500 nm	Feed	Smoothing, normalization, MSC, SNV, BC, DT	PLSR, PCR	NDF	PCR					1.925	0.830	
					ADF	PCR					1.972	0.867	
					IVOMD	SNV + PLSR					2.347	0.81	
					IVDMD	SNV + PLSR					3.911	0.86	
[70]	MPA, Genesis 6, Thermo 190-2500 nm	Tea	PCA	RDA, QDA, SVM, LDA	Classification	QDA, RDA, SVM						100	

[44]	Nicolet 6700 1000-2500 nm	Pit mud	SG, SNV, MSC, CWT	HCA, PLS-DA, ANN, SVM PLSR, ANN, SVR, ELM	Classification (new/aged) Total Carbon Total Nitrogen Total Phosphorus	PLS-DA, SVM CWT+SVM											100
[62]	GER 1500 282-1097 nm	Rice	PCA- Combined, PLSR- Combined	ELNET, SVMR, KNN, GPR, MARS, RF, XGB, GAM	K Ca Mg Na Zn Cu	PLSR + GAM PLSR + GAM PLSR+ELNET PLSR + GPR PLSR+ELNET PLSR + GAM	0.93 0.88 0.90 0.96 0.92 0.89	0.87 0.88 0.82 0.87 0.93 0.87									
[73]	Perkin 1000-2500 nm 2500-15000 nm	Sesame oil	PLS-DA	LS-SVM	Adulteration of corn oil	Synchronous Asynchronous Fusion											96.3 96.3 100
[56]	MB3600 833-2500 nm	Brown rice	MSC	LDA PLSR, SMLR	Classification AFB1 AFB2 AFG1 AFG2 AFs	NIR Spectra	0.981 0.958 0.941 0.939 0.950	0.973 0.969 0.936 0.945 0.951	105 6.4 180 13.1 299	70.4 4.7 144 9.8 231	4.0 3.3 2.8 2.5 3.1						96.9
[11]	Nicolet iS50 1000-25000 nm	Durum wheat pasta	PCA	LDA, PLS-DA	Classification	PLS-DA											97
[24]	Perkin 1000-2500 nm	Hamburger	MSC, SG, PCA	PLS-DA, PLSR	Classification of Na intensity Iron Potassium Sodium Calcium	PLS-DA SG + MSC + PLSR	0.94 0.92 0.98 0.96	0.85 0.85 0.96 0.98									100
[25]	Matrix-F 833-2500 nm	Rhubarb	CARS, MSC, SNV, SG	PLSR, PSO- LSSVM	Free anthraquinone Total anthraquinone	PSO-LSSVM	0.9891 0.9944	0.9589 0.9735	0.04865 0.03932	0.07961 0.07810	3.587 4.370						

[26]	Luminar 5030 1100-2300 nm	Meat fraud	MC, MSC, SNV, 1D, 2D, DT	PLS-DA	Lamb-Pork	Raw					90
					Lamb-Chicken	MC					79.16
					Lamb- Lidia breed	1D + MC					86.36
					Lamb-Foal	2D + MC					85
					Beef-Pork	1D + MC					80
					Beef-Chicken	SNV+DT+MC					78.95
					Beef-Lidia breed	MSC+MC					95.24
					Beef-Foal	1D+MC					100
[28]	FOSS 5000 1100-2500 nm	Cocoa powder	EMSC, OSC, SNV, SG, PCA	PLS-DA, PLSR	Detection of Cocoa shell	EMSC + OSC+ PLSR	1.91	2.43	5.03	0.967	
[29]	Perten DA7250 950-1650 nm	Weathered sorghum grain	MSC, EMSC	PLSR	Protein	MSC+PLSR	0.69	0.47		0.92	
[19]	MPA 833-2500 nm	Rice	PCA, MSC, SNV, SG	PLSR, iPLS, siPLS, mwPLS	Amylose determination	SNV + SG + PLSR	0.92	0.90	2032	2435	
[12]	Perkin 1000-2500 nm	Pork Meat	SNV, BC, UNV, 1D	PLS-DA, PLSR	Discrimination of adulterated meat	SNV + UNV + PLSR	0.077	1.183		0.992	
[33]	AvaSpec-2048 350-1100 nm	Sugarcane	MA, SNV	PLSR	Prediction of soluble solids content	MA+ SNV + PLSR		0.31		0.805	
[34]	FTLA 2000 714-16666 nm	Wine	PCA	PLSR	Ethyl acete					3.9	0.95
					Methanol					4.4	0.96
					2-Methyl-1-butanol					4.7	0.96
					3-Methyl-1-butanol					4.7	0.96
					2-Phenylethanol					4.8	0.97
					3-Methylbutyl acetate					4.4	0.96
					Ethyl lactate					4.5	0.96
					Ethyl octanoate					3.7	0.94
					Diethyl succinate					4.9	0.97
Diethyl malate					4.1	0.95					
[35]	Nicolet 6700 1000-2500 nm	Darjeeling black tea	SNV, 1D, 2D	PLS-DA, SIMCA	Classification	SNV + 2D + PLS-DA					95.45
[38]	Nicolet IS50 1000-2500 nm	Chicken hamburgers	SNV, MSC, SG, BC	PLS, iPLS, iSPA- PLS	Determination of fat content	SG (1D) + PLS	0.74	0.90	3.73	2.33	2.31

[42]	RESONON 900-1700 nm	Wheat	1D, BC	LDA, PLSR	Ergosterol	1D + PLSR	0.89	83.3
					DON	1d + PLSR	0.73	
					Classification	BC + LDA		

RMSEC, root mean squared error of calibration; RMSEP, root mean squared error of prediction; R_c , correlation coefficient of calibration; R_p , correlation coefficient of prediction; RPD, the ratio of prediction to deviation; R^2 , the coefficient of determination; SPA, successive projection algorithm; CARS, competitive adaptive reweighted sampling; MLR, multiple linear regression; PCA, principle component analysis; CWT, continuous wavelet transform; BC, baseline correction; SNV, standard normal variate; MSC, multiplicative scatter correction; SG, Savitzky-Golay; PLSR, partial least squared regression; PCR, principle component regression; SVMR, support vector machine regression; LDA, linear discriminant analysis; PLS-DA, partial least squared-discriminant analysis; KNN, k-nearest neighbors; ELNET, elastic net; GPR, gaussian process regression; MARS, multivariate adaptive regression spline; XGB, extreme gradient boosting; GAM, generalized additive model; RF, random forest; *i*PLS, interval PLS; *i*SPA-PLS, interval selection PLS; 1D, 1st derivative; 2D, 2nd derivative; MC, mean centering.



Attitudes and Preferences of Consumers Towards Functional Foods Enriched with Omega-3 Fatty Acids

Birsen Demirel¹, Alev Yüksel-Bilsel², Neşe Şahin-Yeşilçubuk^{3*}

¹ Istanbul Bilgi University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3897-1446), birsen.demirel@bilgi.edu.tr

² Istanbul Galata University, Faculty of Arts and Social Sciences, Department of Gastronomy and Culinary Arts, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3795-9077), alev.bilsel@galata.edu.tr

^{3*} Istanbul Technical University, Faculty of X Chemical and Metallurgical, Department of Food Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4179-1932), sahinnes@itu.edu.tr

(First received 21 February 2021 and in final form 8 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.884022)

ATIF/REFERENCE: Demirel, B., Yüksel-Bilsel, A. & Şahin-Yeşilçubuk, N. (2021). Attitudes and Preferences of Consumers Towards Functional Foods Enriched with Omega-3 Fatty Acids. *European Journal of Science and Technology*, (25), 485-492.

Abstract

In recent years, increasing attention has focused on foods enriched with omega-3 fatty acids due to their positive effects on health. Natural omega-3 fatty acid sources include aquaculture and plants such as walnut, flaxseed, and purslane. In view of the inadequate intake of omega-3 fatty acids in modern diets, several enriched functional foods have been developed on a large scale to improve nutrition. Several types of functional products have been progressively manufactured following the advent of novel food technologies. In the current study, consumer attitudes, knowledge and preferences of functional foods enriched with omega-3 were assessed in a survey including 819 participants in İstanbul, Turkey. The survey findings revealed that 72% of the participants consumed omega-3 fatty acids from natural sources, 17% used fish oil capsules, and only 11% preferred foods enriched with omega-3 fatty acids.

Keywords: Omega-3 fatty acids, Functional foods, Consumer, Attitude, Perception.

Tüketicilerin Omega-3 Yağ Asitleri ile Zenginleştirilmiş Fonksiyonel Gıdalara Yönelik Tutum ve Tercihleri

Öz

Son yıllarda sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle omega-3 yağ asitleri ile zenginleştirilmiş gıdalara ilgi artmaktadır. Doğal omega-3 yağ asidi kaynakları arasında su ürünleri ile ceviz, keten tohumu ve semizotu gibi bitkiler bulunur. Modern diyetlerde omega-3 yağ asitleri yeterince alınmadığından ötürü beslenmeyi iyileştirmek için çeşitli zenginleştirilmiş fonksiyonel gıdalar büyük ölçekte geliştirilmiştir. Yeni gıda teknolojilerinin ortaya çıkmasının ardından aşamalı olarak çeşitli fonksiyonel ürünler üretilmiştir. Bu çalışmada, omega-3 ile zenginleştirilmiş fonksiyonel gıdalara yönelik tüketici tutumu, bilgisi ve tercihleri İstanbul'daki 819 tüketicinin katıldığı bir anket ile değerlendirilmiştir. Araştırma bulgularına göre katılımcıların %72'sinin doğal kaynaklardan omega-3 yağ asitleri tükettiğini, % 17'sinin balık yağı kapsülleri kullandığını ve sadece % 11'inin omega-3 yağ asitleri ile zenginleştirilmiş yiyecekleri tercih ettiği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Omega-3 yağ asitleri, Fonksiyonel gıdalar, Tüketici, Tutum, Algi

* Corresponding Author: sahinnes@itu.edu.tr

1. Introduction

Lipids perform important functions in the body and are necessary in the human diet (Jacobsen, 2010). Supportive but not conclusive research shows that, omega-3 fatty acids may have numerous benefits such as reducing the risk of cancer, heart disease, inflammation, arthritis, diabetes and high cholesterol (Mazza et al., 2007; Saini & Keum, 2018). Eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) are omega-3 fatty acids associated with prevention of Alzheimer's disease, fetal development and cardiovascular activities (Swanson et al., 2012).

Oily fish contain a high amount of the long-chain omega-3 fatty acids EPA and DHA (Williams & Burdge, 2006). Scientific authorities recommend consumption of fish twice a week to benefit from omega-3 fatty acids. Omega-3 fatty acids are also ingested in the form of supplements. However, omega-3 fatty acids are not adequately consumed by the majority of the population (Lane & Derbyshire, 2018). According to the Turkey Nutrition and Health Survey report (TBSA, 2019), the intake of EPA+DHA is between 0.2 and 0.3 grams ($\pm 0.47-0.89$ g) in men and 0.2 grams ($\pm 0.39-0.64$ g) in women in all age groups which is less than recommended values. Omega-3 enriched functional foods have been a significant recent trend. These novel functional food products are launched by the way traditional food markets. At present, consumers have increased dietary choices, such as egg, milk and bread products enriched with omega-3 fatty acids (Cox et al., 2008; Jacobsen, 2010).

A combination of social, psychological, and economic factors exerts important effects on functional food intake (Patch et al., 2005). Additionally, consumer acceptance plays a crucial role in the development and marketing of functional foods (Siró et al., 2008). In Turkey, limited consumer studies regarding omega-3 enriched foods have been conducted. Accordingly, we investigated omega-3 fatty acid consumption patterns, consumer attitudes, and preferences of Turkish consumers towards functional foods enriched with omega-3 fatty acids in this study. To this end, a consumer survey was performed and the results obtained from 819 participants were analyzed.

2. Material and Method

2.1. Data Collection and Analysis

An internet survey was conducted from December 2, 2015, to January 1, 2016, incorporating 819 participants. In accordance with the purpose of the survey, the respondents were selected from young and middle-aged adults who are responsible for grocery shopping and are living in Istanbul, the most densely populated city of Turkey. The "VETİ" ("Data Collection and Statistics System") program developed by Istanbul Technical University was used to prepare and distribute the questionnaire and evaluate the survey results. SPSS (Statistical Package for Social Sciences, Version 22) was used for statistical analysis of the responses. Non-parametric tests, such as Mann-Whitney U and Kruskal-Wallis, were conducted to determine the differences between independent factors (gender, education, income level), since the data were not normally distributed according to the Shapiro-Wilk test. Additionally, Tamhane's T2 post-hoc test was used to evaluate differences within the groups. Moreover, Descriptive statistics were used to describe continuous variables (mean, standard deviation, minimum, median, maximum). frequency and percentage values were calculated for the

descriptive statistics of categorical variables for consumption frequency. Chi-Square (or Fisher Exact test, where appropriate) was used to examine the relationship between categorical variables. Statistical significance level was determined as 0.05. Analysis were performed using MedCalc Statistical Software version 12.7.7 (MedCalc Software bvba, Ostend, Belgium; 2013).

2.2. Questionnaire Design

To assess consumer attitudes, perception and knowledge with regard to functional foods enriched with omega-3, dichotomous questions (yes/no), multiple choice questions and the five-point Likert-type scale were used. The survey comprised three main sections including a total of 18 questions. The first seven questions involved demographic information on participants, the next five questions assessed omega-3 consumption, and the final six questions evaluated the functional foods enriched with omega-3 consumed in Turkey.

3. Results and Discussion

3.1. Results

3.1.1 Sample Demographics

The socio-demographic profiles of the respondents are presented in Table 1. According to the responses, female participants accounted for more than half of the study group. Overall, 53% participants were female and 47% were male.

Table 1. Socio-demographic characteristics of the sample (n = 819)

	(n)	(%)
<i>Gender</i>		
Female	435	53
Male	384	47
<i>Age (years)</i>		
18-30	500	61
31-40	156	19
41-50	106	13
>50	57	7
<i>Marital status</i>		
Single	541	66
Married	278	34
<i>Presence of children</i>		
Yes	238	29
No	581	71
<i>Education</i>		
Primary School	8	1
High School	229	28
Bachelor's Degree	459	56
Higher Degree	123	15
<i>Job status</i>		
Civil Servant	360	44
Freelancer	74	9
Retired	25	3
Private Sector	49	6
Student	295	36
Other	16	2
<i>Income (per month)</i>		
<1000 TRY (<345 \$)	213	26
1000-2000 TRY (345-690 \$)	180	22
2000-3000 TRY (690-1035\$)	254	31
3000-5000 TRY (1035-1725\$)	115	14
>5000 TRY (>1725\$)	57	7

The age range of more than half of the participants was 18-30 years. Specifically, 61% were 18-30 years, 19% were 31-40 years, 13% were 41-50 years, and 7% were older than 50 years (Table 1).

Overall, 66% respondents were single and 44% were married (Table 1). Additionally, 29% consumers had children and 71% had no children. More than half the consumers had a bachelor's degree (56% were university graduates), 15% had a master's or higher degree, 28% had graduated from high school, and 1% were educated to primary school level.

As presented in Table 1, 44% participants worked in a public institution, 6% were in the private sector, 9% were freelance, 36% were students and 3% were retired. In terms of total monthly income, 26% participants earned less than 1000

TRY, 22% earned 1000–2000 TRY, 31% earned 2000–3000 TRY, 14% earned 3000–5000 TRY and 7% earned over 5000 TRY.

3.1.2 Consumer Knowledge and Awareness

In the survey, participants were asked if they had any knowledge of omega-3 fatty acids and their main source of information. Only 2% of the participants had never encountered the term 'omega-3 fatty acids' before (Figure 1). Among the 819 respondents, 43% had obtained information from television, 22% from school, 12% from the internet, 7% from doctors, and 4% from newspapers. The remaining participants had received information from food engineers, dieticians or other sources, such as family members, friends, and books.

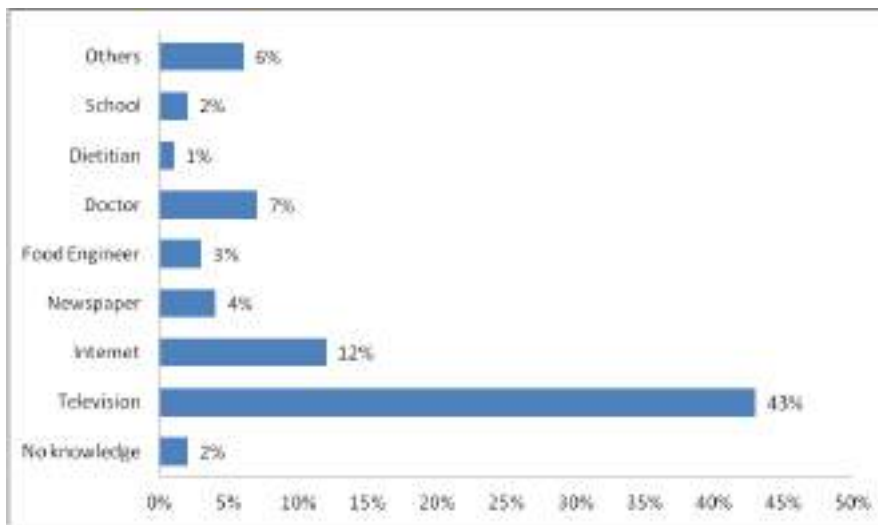


Figure 1. Distribution of participants according to information sources.

The following question focused on knowledge on the health benefits of omega-3 fatty acids (Figure 2). The most common response was decreasing heart attack risk (31%). Overall, 24% of the participants were aware of the health benefits of omega-3 fatty acids on the immune system and 20% were familiar with health benefits during pregnancy and brain and eye development of infants. Furthermore, 13% participants were aware of the effect of omega-3 fatty acids on prevention of hypertension and 12% on their use in the treatment of depression and behavioral disorders.

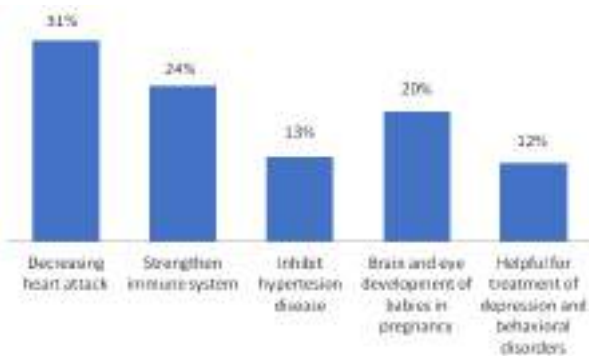


Figure 2. Distribution of participants according to knowledge on health benefits of omega-3 fatty acids.

Participants were required to select foods containing natural omega-3 fatty acids to assess their knowledge on natural sources. According to Figure 3, although all options in the

survey were natural omega-3 sources, fish was the most well-known source. Walnut was selected as another natural omega-3 fatty acid source according to 25% participants whereas 13% considered flaxseed a natural source. In addition, 8% of the respondents selected purslane, 6% selected canola oil, 7% selected soybean oil, and 3% identified krill oil as natural omega-3 fatty acid sources.

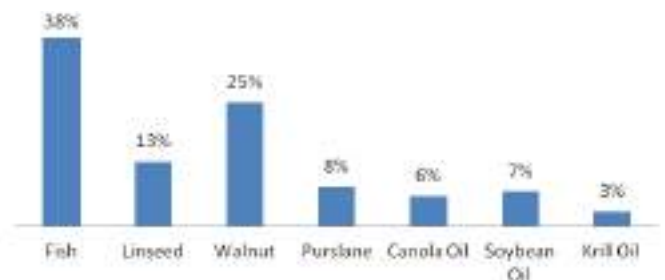


Figure 3. Distribution of participants according to knowledge on natural omega-3 fatty acid sources.

In another question of the survey, information on awareness of the presence of omega-3 fatty acid enriched foods in Turkey market was obtained. According to the data, more than half the participants (57%) had never encountered omega-3 enriched foods whereas 43% knew about foods enriched with omega-3 fatty acids within the market. According to statistical data, no significant differences were observed between gender, marital status, age, education, and income level groups ($P>0.05$).

In subsequent question, participants were asked to select listed foods declared or labeled as containing omega-3 fatty acids in order to assess consumer knowledge on the presence of enriched foods. Margarine was the most popular response by 31% participants. Infant formulae and eggs were known foods enriched with omega-3 fatty acids by only 19% participants and vegetable oil identified as an omega-3-rich food by 27% participants. A small proportion (3%) of participants selected other options, such as fish cans, chocolates and bread.

3.1.3 Consumer Knowledge and Awareness

In the survey, a question aimed to obtain information on ways through which omega-3 fatty acids are consumed. The results showed that the vast majority of the participants obtained omega-3 fatty acids by consuming natural foods. Overall, 72% participants preferred natural foods containing omega-3 fatty acids, 17% preferred fish oil capsules, and 11% preferred foods enriched with omega-3 fatty acids.

In a question of the survey, the consumption frequency of specific foods containing omega-3 fatty acids was established. According to data collected from the responses, 33% participants consumed fish once a week (the highest frequency of consumption) while 11% participants consumed fish less than once a month (the lowest frequency of consumption).

The majority (81%) of participants consumed flaxseed less than once a month whereas 42% consumed walnuts more than twice a week. In addition, purslane was consumed less than once a month by 42% respondents, whereas 91% participants consumed canola oil, 87% consumed soybean oil, and 95% consumed krill oil less than once a month.

Purchasing attitudes towards foods enriched with omega-3 fatty acids were determined in the survey. As shown in Figure 4, margarine (33%) was the most popular response. Other foods purchased by participants were infant formula (6%), vegetable oil (27%), and eggs (25%). Moreover, 9% of the consumers selected other choices, such as fish cans, chocolates and none of them.

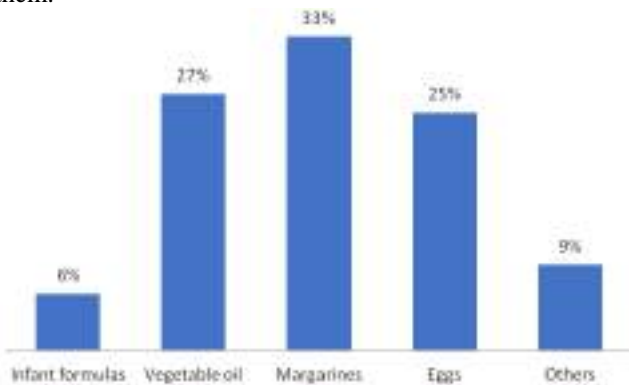


Figure 4. Distribution of participants according to purchasing attitudes to foods enriched with omega-3 fatty acids in the marketplace.

In a question, willingness to purchase listed foods enriched with omega-3 fatty acids was established. The results are presented in Figure 5. Yoghurt enriched with omega-3 fatty acids was preferred by 17%, cereal and cheese by 15%, milk and bread by 14%, chocolate by 12%, and biscuits by 11% respondents.

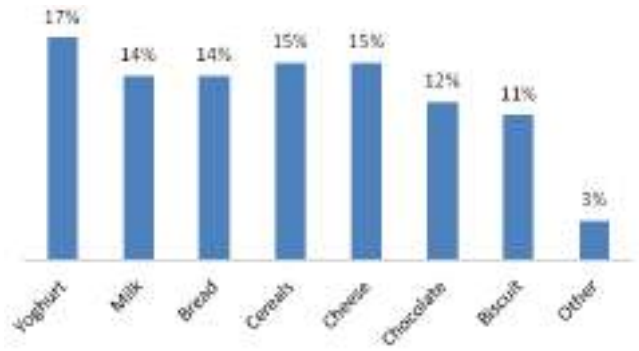


Figure 5. Distribution of participants according to buying preferences.

The factors affecting consumption levels and preferences of consumers were further investigated. Different situations were provided and respondents expected to evaluate the extent of consumption and preferences towards foods enriched with omega-3 fatty acids. According to the results (Figure 6), 43% participants readily consumed enriched products that were cheaper than normal products (statement 1) whereas 39% remained neutral in cases where enriched products were more expensive (statement 2). Moreover, 45% respondents were consumers of enriched products that were more nutritional than normal products (statement 3) and 38% consumed enriched products with labels including health benefits (statement 4). In addition, 46% participants consumed enriched products with a similar taste to non-enriched counterpart products (statement 5). Overall, 50% participants readily consumed enriched products recommended by their doctors (statement 6). Statistical analysis revealed no significant differences in consumption preferences based on gender ($P>0.05$). On the other hand, marital status was associated with significant differences for statements 2 ($P=0.01$), 4 ($P=0.02$) and 6 ($P=0.025$). The 18–30 and 41–50 year age groups showed significant differences ($P<0.05$), except in the case of statement 1 ($P>0.05$). Moreover, among the education level categories examined, high school and higher degree level groups showed significant differences for statements 1 ($P=0.036$) and 4 ($P=0.014$). Statements 2 ($P=0.001$) and 5 ($P=0.038$) were markedly different for specific income level groups (<1000 TRY and 2000-3000 TRY).

3.1.4. Examining the relationship between categorical variables

Comparisons about omega-3 containing food consumption frequency were made according to gender, age, education, income, occupation and marital status.

According to statistical analysis results (Table 2), a significant difference between flaxseed, walnut, purslane consumption frequency and gender was observed ($p<0.05$). Moreover, significant difference was also observed between fish, flaxseed, walnut, purslane, soybean oil consumption frequency and age ($p<0.05$). Fish consumption frequency was related with education and income levels ($p<0.05$). There was a statistically significant difference between fish, purslane, soybean oil and occupation ($p<0.05$), whereas significant difference was observed between fish, walnut, purslane and marital status ($p<0.05$).

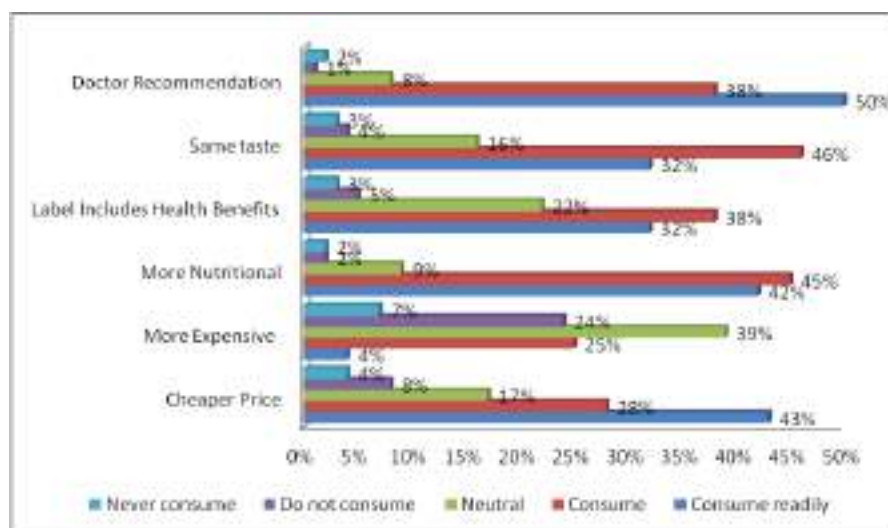


Figure 6. Distribution of participants according to situations affecting buying decisions.

3.1.5 Reliable Information Source

In the last question of the survey, participants were asked about the three most reliable sources of information on foods enriched with omega-3 fatty acids. Overall, doctors (29%), universities/research institutions (29%) and non-governmental organizations (19%) were considered the three most reliable information sources while 6% participants found media reliable. In addition, 15% respondents found official institutions reliable.

3.2. Discussion

Development and marketing of new functional food products are partly depending on the acceptance of consumers (Siró et al., 2008). Unfortunately, there is a lack of consumer studies relating to omega-3 enriched foods in Turkey. This study will fill the research gap in order to reveal the omega-3 fatty acid consumption patterns, consumer attitudes, and preferences towards functional foods enriched with omega-3 fatty acids.

Diets including omega-3 fatty acids have a crucial role for human health and diseases. Consumer knowledge is a significant factor to benefit from these dietary lipids' health effects and to contribute public health. Additionally, from a marketing perspective, it is important to know what extent the consumers' knowledge about omega-3 fatty acids. According to current survey results, nearly all the participants (98%) knew the term "omega-3 fatty acids". Data gathered from the consumer survey studies conducted in Turkey unraveled that different information sources such as internet, television, newspapers may contribute to increase society's knowledge level of functional foods. In this study, among the given alternative information sources, television had the highest score (43%). Similarly, Gezginç and Gök (2016) found that most of the participants learned the functional foods concept from television (47%), whereas internet was the most selected information source (25%) according to another consumer survey about functional foods (Öncebe & Demircan, 2019).

Fishes, especially marine fishes supply more omega-3 fatty acids (EPA and DHA) (Williams & Burdge, 2006). In the survey, fish had the highest consumption frequency among the given specific foods containing omega-3 fatty acids. 33% of the respondents stated that they consumed fish once a week and 11% participants consumed fish less than once a month (the lowest

frequency of fish consumption). Our data are consistent with an earlier survey conducted in Istanbul by Erdoğan et al. (2011) which showed that nearly 35% participants consumed seafood once a week and ~5% consumed seafood less than once a month.

Supplementation of n-3 PUFA in feed formulations resulted with increased growth performance and environmental effects. This is considered to be an obvious potential application for intensive hatcheries (Yılmaz, 2020).

Consumers' needs and preferences must be taken into account in food industry especially during the development of new food products (Moors & Donders, 2009). Our study showed that the majority of participants (72%) preferred to consume omega-3 fatty acids from their own sources while only 11% preferred omega-3 enriched foods. The respondents in the survey purchased predominantly margarine (33%), vegetable oil (27%) and eggs (25%) as functional foods enriched with omega-3 fatty acids. Likewise, Öncebe and Demircan (2019) conducted a consumer survey on 384 participants in Isparta, Turkey, to investigate the factors affecting consumer behavior towards functional foods. According to the responses, ~15% consumers purchased eggs enriched with omega-3 fatty acids. Another survey performed in Adana, Turkey, revealed that omega-3 enriched fats and oils were consumed by 60% of the participants (Gezginç & Gök, 2016). Moreover, according to a survey with 306 academic correspondents in İzmir, Turkey, it was observed that, 38% consumed omega-3/selenium enriched eggs, 42% knew about the product but did not use it and 20% did not know about the product (Hacıoğlu & Kurt, 2012). In contrast, another consumer survey (n= 222) from Greece has revealed that only 2 participants consumed omega-3 enriched eggs, while 7 participants recognized but have not tested omega-3 eggs and omega-3 enriched milk (Karelakis et al., 2020). Furthermore, according to the results of an online survey (n= 307) conducted in Brazil, the consumers had positive attitude towards frankfurters enriched with omega-3 fatty acids (Polizer Rocha et al., 2019).

Consumer knowledge and awareness are closely related to buying behavior according to results of our study. Margarine, vegetable oil and eggs had higher scores among the listed foods declared or labeled as "containing omega-3 fatty acids" in the survey.

Table 2. Comparison of omega-3 containing food consumption frequency according to age (n = 819)

	Frequency *	18-30		21-40		41-50		>51		p
		N	%	N	%	N	%	N	%	
Fish	1.	51	10.3%	20	13.2%	28	27.7%	9	17.3%	<0.001
	2.	133	26.8%	71	46.7%	39	38.6%	18	34.6%	
	3.	117	23.6%	28	18.4%	16	15.8%	9	17.3%	
	4.	120	24.2%	23	15.1%	14	13.9%	13	25.0%	
	5.	75	15.1%	10	6.6%	4	4.0%	3	5.8%	
Flaxseed	1.	12	2.9%	4	4.0%	5	8.6%	4	13.3%	0.045
	2.	18	4.3%	2	2.0%	3	5.2%	3	10.0%	
	3.	17	4.1%	4	4.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	4.	27	6.5%	9	8.9%	5	8.6%	4	13.3%	
	5.	342	82.2%	82	81.2%	45	77.6%	19	63.3%	
Walnut	1.	161	33.6%	69	47.9%	62	64.6%	33	67.3%	<0.001
	2.	85	17.7%	24	16.7%	11	11.5%	4	8.2%	
	3.	76	15.9%	17	11.8%	13	13.5%	2	4.1%	
	4.	90	18.8%	15	10.4%	5	5.2%	5	10.2%	
	5.	67	14.0%	19	13.2%	5	5.2%	5	10.2%	
Purslane	1.	26	6.0%	8	6.6%	4	5.0%	6	13.0%	0.004
	2.	29	6.7%	16	13.1%	12	15.0%	7	15.2%	
	3.	61	14.0%	13	10.7%	22	27.5%	7	15.2%	
	4.	122	28.0%	35	28.7%	18	22.5%	10	21.7%	
	5.	197	45.3%	50	41.0%	24	30.0%	16	34.8%	
Canola Oil	1.	4	1.0%	1	1.0%	0	0.0%	2	8.0%	0.183
	2.	6	1.5%	1	1.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	3.	9	2.2%	0	0.0%	2	4.7%	0	0.0%	
	4.	18	4.5%	5	4.9%	1	2.3%	1	4.0%	
	5.	367	90.8%	95	93.1%	40	93.0%	22	88.0%	
Soybean Oil	1.	4	1.0%	0	0.0%	0	0.0%	2	8.0%	0.040
	2.	13	3.2%	3	3.0%	1	2.4%	0	0.0%	
	3.	13	3.2%	0	0.0%	1	2.4%	1	4.0%	
	4.	29	7.1%	2	2.0%	2	4.9%	2	8.0%	
	5.	348	85.5%	94	94.9%	37	90.2%	20	80.0%	
Krill Oil	1.	2	0.5%	1	1.0%	0	0.0%	2	8.7%	0.072
	2.	1	0.2%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	3.	6	1.5%	1	1.0%	1	2.4%	0	0.0%	
	4.	9	2.2%	2	2.0%	0	0.0%	1	4.3%	
	5.	386	95.5%	94	95.9%	40	97.6%	20	87.0%	

*1: Two or more times per week; 2: Once a week ; 3: two to one; 4: once a month ; 5: Less

In addition, the participants mostly preferred buying these three omega-3 enriched food items. Additionally, market potential of functional cookies containing flaxseed that is rich in omega-3 fatty acids were investigated via an online questionnaire (n=1035) in Croatia by Cukelj et al. (2016). It was found that the consumers with higher nutrition knowledge and consciousness were more interested in the functional cookies with omega-3 fatty acids. So, increased consumer awareness and knowledge towards omega-3 enriched foods may provide a variety of successful new functional foods (Moors & Donders, 2009).

Price and health effects are important factors influencing willingness to buy (Urala & Lähteenmäki, 2007). Most of the participants stated that they consume readily enriched products when they have some health benefits and have higher nutrition values or are cheaper than normal products. Besides, doctor recommendation affected purchase intent of half of the participants. Our findings are parallel to the consumer studies conducted in Turkey by Sevilmiş et al. (2017) and Öncebe and Demircan (2019) as the results of the surveys indicated that the participants preferred to purchase functional food products having beneficial health effects.

In the current study, 58% of the respondents declared that the most reliable information sources were doctors and universities/research institutions. Based on these results, public service announcements can be created within the framework of the cooperation of universities, research institutes, producers and government in order to increase consumer knowledge and to improve public health.

4. Conclusions and Recommendations

Here, we evaluated consumer knowledge, attitudes and preferences with regard to omega-3 fatty acids and omega-3 enriched foods in Istanbul via a consumer survey. Among the 819 participants, only 2% had no prior knowledge of omega-3 fatty acids whereas 43% had been made aware of the term on television for the first time. Moreover, 43% participants had encountered foods enriched with omega-3 fatty acids. Overall, 72% participants consumed omega-3 fatty acids from natural sources, 17% consumed fish oil capsules, and only 11% preferred foods enriched with omega-3 fatty acids. In addition, participants preferred enriched foods with more nutritional value, labels with health benefits, and similar taste to non-enriched foods.

In addition, fish consumption frequency was found to be related with education and income levels. Therefore, it can be a solution to the insufficient intake of the society by adding omega-3 fatty acids to the foods widely consumed by the Turkish society.

Blood levels of EPA+DHA are variable across the globe, with most of the countries and regions of the world having levels that are considered low to very low (Stark et al., 2016; Stanton et al., 2020). Very low bloods levels observed for Turkey might associate with an increased risk in cardiovascular related mortality. Therefore, efforts are needed to increase the consumption of omega-3 fatty acids either by natural sources/supplements or foods enriched with omega-3 fatty acids (Stanton et al., 2020).

This study was conducted to evaluate consumer attitudes and preferences regarding omega-3 enriched functional foods, since consumer studies are limited in this field. Further up to date studies with increased sample sizes are essential for improving understanding of consumer attitudes, awareness and preferences towards omega-3 fatty acid-enriched functional foods.

References

- Cox, D.N., Evans, G., & Lease, H.J. (2008). Australian consumers' preferences for conventional and novel sources of long chain omega-3 fatty acids: A conjoint study. *Food Quality and Preference*, 19(3), 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.10.006>
- Cukelj, N., Putnik, P., Novotni, D., Ajredini, S., Voucko, B., & Curic, D. (2016). Market potential of lignans and omega-3 functional cookies. *British Food Journal*, 118(10), 2420–2433. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2016-0117>
- Erdoğan, B.E., Mol, S., & Coşansu, S. (2011). Factors influencing the consumption of seafood in Istanbul, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11, 631–639. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v11_4_18
- Gezginç, Y., & Gök, S. (2016). Adana ili örneği ile tüketicilerin fonksiyonel gıdalara yönelik farkındalığı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 47(2), 101–106.
- Hacıoğlu, G., & Kurt, G. (2012). Tüketicilerin fonksiyonel gıdalara yönelik farkındalığı, kabulü ve tutumları: İzmir ili örneği. *Business and Economics Research Journal*, 3(1), 161-171.
- Jacobsen, C. (2010). Enrichment of foods with omega-3 fatty acids: a multidisciplinary challenge. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1190(1), 141–150. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05263.x>
- Karelakis, C., Zevgitis, P., Galanopoulos, K., & Mattas, K. (2020). Consumer trends and attitudes to functional foods. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 32(3), 266-294. <https://doi.org/10.1080/08974438.2019.1599760>
- Lane, K.E., & Derbyshire, E.J. (2018). Omega-3 fatty acids - A review of existing and innovative delivery methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(1), 62–69. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.994699>
- Mazza, M., Pomponi, M., Janiri, L., Bria, P., & Mazza, S. (2007). Omega-3 fatty acids and antioxidants in neurological and psychiatric diseases: an overview. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 31(1), 12-26. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2006.07.010>
- Moors, H.M.E., & Donders, R. (2009). Understanding consumer needs and preferences in new product development: the case of functional food innovations. *Innovation Studies Utrecht (ISU) working paper series 09-03*, Utrecht University, Department of Innovation Studies, revised Feb 2009.
- Öncebe, S., & Demircan, V. (2019). Tüketicilerin fonksiyonel gıda tüketimini etkileyen faktörler. *Akademik Gıda*, 17(4), 497–507. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.667263>
- Patch, C.S., Tapsell, L.C., & Williams, P.G. (2005). Attitudes and intentions towards purchasing novel foods enriched with omega-3 fatty acids. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 37(5), 235–241. [https://doi.org/10.1016/s1499-4046\(06\)60277-7](https://doi.org/10.1016/s1499-4046(06)60277-7)

- Polizer Rocha, Y.J., de Noronha, R.L.F., & Trindade, M.A. (2019). Relations between consumer's concern with own health and their perception about frankfurters with functional ingredients. *Meat Science*, 155, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.003>
- Saini, R.K., & Keum, Y-S. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance - a review. *Life Sciences*, 203, 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>
- Sevilmiş, G., Olgun, A., & Artukoğlu, M. (2017). Fonksiyonel gıdalarda tüketici kararlarını etkileyen faktörler üzerine bir araştırma: İzmir İli örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(3), 351-360. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.388102>
- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food product development, marketing and consumer acceptance - a review. *Appetite*, 51(3), 456–467. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>
- Stanton, A.V., James, K., Brennan, M. M., O'Donovan, F., Buskandar, F., Shortall, K., El-Sayed, T., Kennedy, J., Hayes, H., Fahey, A. G., Pender, N., Thom, S.A.M., Moran, N., Williams DJ, & Dolan, E. (2020). Omega-3 index and blood pressure responses to eating foods naturally enriched with omega-3 polyunsaturated fatty acids: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 10(1):15444. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71801-5>.
- Stark, K.D., Van Elswyk, M.E., Higgins, R., Weatherford, C.A., Salem, N. (2016). Global survey of the omega-3 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in the blood stream of healthy adults Ken D. Stark a, *Progress in Lipid Research*. 63 (2016) 132–152. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2016.05.001>.
- Swanson, D., Block, R., & Mousa, S.A. (2012). Omega-3 fatty acids EPA and DHA: Health benefits throughout life. *Advances in Nutrition*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.3945/an.111.000893>
- T.C. Sağlık Bakanlığı, Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması (TBSA), (2019), Tiraj Basım ve Yayın San. Tic. Ltd. Şti., Çankaya, ANKARA.
- Urala, N., & Lähteenmäki, L. (2007). Consumers changing attitudes towards functional foods. *Food Quality and Preference*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.06.007>
- Williams, C.M., & Burdge, G. (2006). Long-chain n-3 PUFA: plant vs. marine sources. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(1), 42–50. <https://doi.org/10.1079/pns2005473>
- Yılmaz, A.H. (2020). N-3 HUFA'ca zenginleştirilmiş *Artemia* ile beslenen Yeşil kaplan karidesi (*Penaeus semisulcatus*) larvalarının büyüme performansı, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 30-34. <https://doi.org/10.31590/ejosat.776363>



Feasible Waveguide Method for Obtaining Electromagnetic Properties of Biaxial Bianisotropic Materials with Strong Magneto-Electric Coupling

Yunus Kaya^{1*}

^{1*} Bayburt University, Department of Electricity and Energy, Bayburt 69000, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2380-5915), ykaya@bayburt.edu.tr

(First received 11 March 2021 and in final form 12 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.894691)

ATIF/REFERENCE: Kaya, Y. (2021). Feasible Waveguide Method for Obtaining Electromagnetic Properties of Biaxial Bianisotropic Materials with Strong Magneto-Electric Coupling. *European Journal of Science and Technology*, (25), 493-497.

Abstract

In this study, an easy-to-apply waveguide method is proposed for material characterization of biaxial bianisotropic samples with strong magneto-electric coupling. Its underlying expressions are derived considering scattering (S-) parameters of the sample at one fixed orientation in two waveguides at their dominant modes with different cross sections. The method is validated by synthesized and retrieved electromagnetic properties of a sample when there is no/some noise.

Keywords: Biaxial Bianisotropic Materials, Strong Magneto-Electric Coupling, Parameter Extraction.

Güçlü Manyeto-Elektrik Kuplajlı Biaksiyal Bianizotropik Malzemelerin Elektromanyetik Özelliklerini Elde Etmek İçin Uygulanabilir Dalga Kılavuzu Yöntemi

Öz

Bu çalışmada, güçlü manyeto-elektrik kuplajlı biaksiyal bianizotropik numunelerin malzeme karakterizasyonu için uygulanması kolay bir dalga kılavuzu yöntemi önerilmiştir. Temel ifadeleri, farklı kesitlere sahip baskın modlarında iki dalga kılavuzunda sabit bir yönelimde numunenin saçılma (S-) parametreleri dikkate alınarak türetilmiştir. Yöntem, gürültü olmadığında/bir miktar gürültü olduğunda bir numunenin sentezlenen ve yeniden elde edilen elektromanyetik özellikleriyle doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biaksiyal Bianizotropik Malzemeler, Güçlü Manyeto-Elektrik Kuplaj, Parametre Çıkarma.

* Corresponding Author: ykaya@bayburt.edu.tr

1. Introduction

Electromagnetic characterization of materials could be used in many applications areas such as medicine, food industry, and civil engineering since physical, chemical, and mechanical properties of these materials could be correlated to their electromagnetic parameters (Chen et al., 2004). There are many microwave methods available in the literature for electromagnetic characterization such as resonant-method (Jha & Akhtar, 2014), free-space method (Akhtar & Akhtar, 2016), coaxial line method (Jablonskas et al., 2017), and waveguide method (Damaskos et al., 1984; Baker-Jarvis et al., 1990; Akhtar et al., 2006; Chen et al., 2006; Allen et al., 2016; Hasar et al., 2017; Hasar & Ozturk, 2018; Xu, 2018). Considering the criteria of broadband measurements, repeatability in measurements, simplicity in measurements and easiness of sample preparation/machining, classical waveguide methods are extensively preferred measurement environment for electromagnetic parameter characterization of materials (Baker-Jarvis et al., 1990). Most of the waveguide methods proposed in the literature assume that the material under analysis is isotropic (Baker-Jarvis et al., 1990; Hasar et al., 2017; Hasar & Ozturk, 2018). For electromagnetic characterization of biaxial materials, the method proposed used in Damaskos et al. (1984) could be applied. However, this method requires the measurement of two-different modes (TE₁₀ and TE₂₀) and thus mode conversion step so as to extract orthogonal components of the complex permittivity tensor. In order to eliminate this need, the methods in Akhtar et al. (2006), Chen et al. (2006), and Hasar et al. (2017), which use measurements of two (orthogonal) different configurations of the sample inside one guide operating at one dominant mode, can be applied for uniaxial/biaxial material characterization. However, rotating the sample and locating it into the waveguide in some instances are not a convenient approach for characterization of these materials (Hasar et al., 2017). Recently, a waveguide method (Xu, 2018) based upon one biaxial sample configuration inside two different waveguides operating at their dominant modes (TE₁₀) is proposed as an alternative approach for alleviating the requirement of orthogonal arrangement of uniaxial/biaxial samples as well as eliminating the necessity of using mode conversion. Nonetheless, this method in this present form is not applicable for biaxial bianisotropic samples having coupling between electric and magnetic fields. In this study, we extend the method in Xu (2018) and apply it for electromagnetic characterization of biaxial bianisotropic samples with strong magneto-electric coupling.

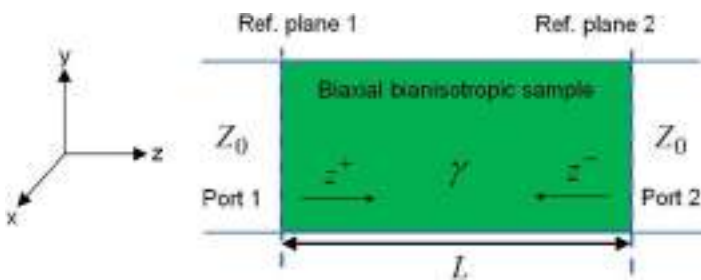


Figure 1. Biaxial bianisotropic sample with length L and magneto-electric coupling located inside a waveguide.

2. Method

Fig. 1 illustrates the schematic view of a biaxial bianisotropic sample with length L positioned into a waveguide with cross section $a \times b (a > b)$. Assuming that longitudinal components (z) of electric and magnetic fields do not change with x and y (over the cross section), then the coupling between these fields for biaxial samples cancel for the wave propagation in z direction with dominant mode (TE₁₀) (Damaskos, et al., 1984; Hasar et al., 2017). However, a biaxial bianisotropic sample has a magneto-electric coupling due to their internal property (Hasar et al., 2017) and the relations between fields can be written for such as coupling in x and y directions for $\exp(-i\omega t)$ time reference as

$$\bar{D} = \bar{\varepsilon} \cdot \bar{E} + \bar{\zeta} \cdot \bar{H}, \quad \bar{B} = \bar{\mu} \cdot \bar{H} + \bar{\zeta} \cdot \bar{E}, \quad (1)$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \begin{bmatrix} \varepsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_z \end{bmatrix}, \quad \bar{\mu} = \mu_0 \begin{bmatrix} \mu_x & 0 & 0 \\ 0 & \mu_y & 0 \\ 0 & 0 & \mu_z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\bar{\zeta} = \frac{1}{c} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -i\xi_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_z \end{bmatrix}, \quad \bar{\zeta} = \frac{1}{c} \begin{bmatrix} 0 & +i\xi_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_z \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Here, $\varepsilon_x(\mu_x)$, $\varepsilon_y(\mu_y)$, and $\varepsilon_z(\mu_z)$ are the relative complex permittivities (complex permeabilities) along x , y , and z directions; ε_0 and μ_0 are the permittivity and permeability of vacuum; c is the velocity of light in vacuum; $\bar{\zeta}$ and $\bar{\zeta}$ are the two tensors describing the coupling; and ξ_0 is the coefficient of magneto-electric coupling. It is seen from Eq. (3) that x and y components of fields are coupled. Thus, of the constitutive parameters, μ_x , μ_y , and μ_z are unknown parameters for the biaxial bianisotropic sample under analysis with magneto-electric coupling. It was demonstrated that for such a sample, the forward and backward reflection and transmission S-parameters can be derived as (Hasar et al., 2017)

$$S_{11} = \frac{\Gamma_1(1-T^2)}{1-\Gamma_1\Gamma_2T^2}, \quad S_{22} = \frac{\Gamma_2(1-T^2)}{1-\Gamma_1\Gamma_2T^2}, \quad (4)$$

$$S_{21} = S_{12} = \frac{T(1-\Gamma_1\Gamma_2)}{1-\Gamma_1\Gamma_2T^2}, \quad (5)$$

$$\Gamma_1 = \frac{z^+ - 1}{z^+ + 1}, \quad \Gamma_2 = \frac{z^- - 1}{z^- + 1}, \quad z^+ = \frac{\mu_x \beta_{0z}}{\beta_{sz} + ik_0 \xi_0}, \quad (6)$$

$$z^- = \frac{\mu_x \beta_{0z}}{\beta_{sz} - ik_0 \xi_0}, \quad T = e^{+i\beta_{sz}L}, \quad B_{0x} = \frac{\pi}{a}, \quad (7)$$

$$\beta_{sz} = \sqrt{k_0^2(\varepsilon_y \mu_x - \xi_0^2) - \frac{\mu_x}{\mu_z} \beta_{0x}^2}, \quad \beta_{0z} = \sqrt{k_0^2 - \beta_{0x}^2}. \quad (8)$$

Here, Γ_1 , Γ_2 , and T are the semi-infinite reflection coefficients and the propagation factor, and z^+ and z^- are the forward and backward normalized wave impedances; β_{sz} and

β_{0z} are the phase constants in the z direction of the sample-loaded and air-loaded waveguide sections; β_{0x} is the phase constant of the air-loaded waveguide section in the x direction; and k_0 is the wavenumber of air.

For known S-parameters in Eqs. (4) and (5), z^+ and z^- can be first extracted from (Hasar et al., 2018)

$$z^+ = \frac{-\Lambda_2 \pm \sqrt{\Lambda_2^2 - 4\Lambda_1\Lambda_3}}{2\Lambda_1}, \quad z^- = \frac{z^+ + \Lambda_4}{1 + z^+\Lambda_4}, \quad (9)$$

$$\Lambda_1 = S_{21}^2 - (1 - S_{11})(1 - S_{22}), \quad \Lambda_2 = 2(S_{11} - S_{22}), \quad (10)$$

$$\Lambda_3 = (1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{21}^2, \quad \Lambda_4 = \frac{S_{11} - S_{22}}{S_{11}S_{22}}. \quad (11)$$

The correct sign for z^+ in (9) can be ascertained so that $\Re\{z^+\} \geq 0$. Next, β_{sz} can be retrieved from

$$\beta_{sz} = \frac{\ln\left(\frac{(z^- + 1)S_{21}}{(z^- + 1) - S_{11}(z^- - 1)}\right) \mp i2\pi m}{iL}, \quad (12)$$

where m designates a branch index ($m = 0, 1, 2, \dots$) whose correct value can be ascertained by various methods (Siddiqui et al., 2003; Barroso & Hasar, 2012; Hasar et al., 2013, 2015). Then, ξ_0 and μ_x can be obtained from

$$\xi_0 = \frac{i\beta_{sz}(z^+ - z^-)}{k_0(z^+ + z^-)}, \quad \mu_x = z^+ \left(\frac{\beta_{sz} + ik_0\xi_0}{\beta_{0z}} \right). \quad (13)$$

The parameters μ_x , ξ_0 , and β_{sz} are determined using expressions of one guide with its dominant mode. However, knowing them is not sufficient to determine the remaining parameters ε_y and μ_z from Eq. (8). Therefore, we need an additional equation to calculate their values. Following the study Xu (2018) and assuming that S-parameters of another waveguide operating at its dominant mode with different cross section are present, ε_y and μ_z can be derived from Eq. (8) as

$$\mu_z = \mu_x \frac{\beta_{0x}^{(2)^2} - \beta_{0x}^{(1)^2}}{\beta_{sz}^{(1)^2} - \beta_{sz}^{(2)^2}}, \quad (14)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{\mu_x} \left[\frac{1}{k_0^2} \frac{\mu_x}{\mu_z} (\beta_{0x}^{(1)^2} + \beta_{sz}^{(1)^2}) + \xi_0^2 \right], \quad (15)$$

where $\beta_{0x}^{(1)}$, $\beta_{0x}^{(2)}$, $\beta_{sz}^{(1)}$, and $\beta_{sz}^{(2)}$ are the phase constants in the x and z directions of these two waveguides with different cross sections ($a_1 \times b_1$ and $a_2 \times b_2$). It is assumed that $\beta_{sz}^{(1)}$ and $\beta_{sz}^{(2)}$ are calculated from Eq. (12) and $\beta_{0x}^{(1)}$ and $\beta_{0x}^{(2)}$ are computed from Eq. (7). We also note that z^+ , z^- , ξ_0 , and μ_x can be evaluated from Eqs. (9)-(11) and (13) for either waveguide at its dominant mode.

For validation of our proposed algorithm, a biaxial bianisotropic sample with corresponding constitutive parameters was synthesized and then its S-parameters were computed for two different guide cross sections. Finally, its parameters were *e-ISSN: 2148-2683*

retrieved using computed S-parameters. In our analysis, a biaxial bianisotropic sample with the following synthesized constitutive parameters changing with frequency was considered as

$$\varepsilon_y = 1 - \frac{2}{f_G^2 + i0.2f_G - 4}, \quad (16)$$

$$\mu_x = 1 - \frac{10}{f_G^2 + if_G - 5}, \quad \mu_z = 2 + i0.5, \quad (17)$$

$$\xi_0 = 1 - \frac{1}{f_G^2 + i0.5f_G - 6}, \quad (18)$$

where f_G is the frequency value at GHz. It is noted from (16)-(18) that the sample has both dispersion (frequency-dependent) and loss behaviors. Next, S-parameters of this sample with length $L = 10$ mm corresponding to two different cross sections $a_1 = 150$ mm, $b_1 = 75$ mm, $a_2 = 120$ mm, and $b_2 = 60$ mm were computed from (4)-(8) for a frequency range 1.0-2.8 GHz. Then, ξ_0 and μ_x were retrieved from (9)-(13) for the first (or second) waveguide cross section. After, ε_x and μ_z were computed from (14) and (15).

3. Results

Figs. 2-5 illustrate the synthesized and retrieved real and imaginary parts of ξ_0 , μ_x , ε_y , and μ_z . It is seen from Figs. 2-5 that synthesized and retrieved parameters are in good agreement with each other over the whole frequency band.

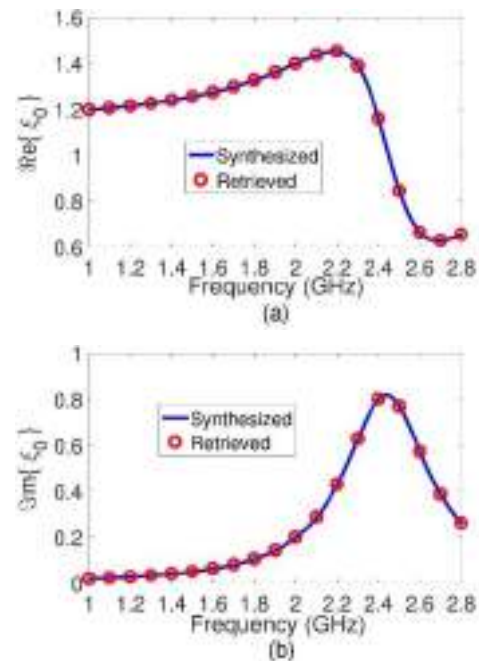


Figure 2. (a) Real and (b) imaginary parts of the synthesized and retrieved ξ_0 versus frequency.

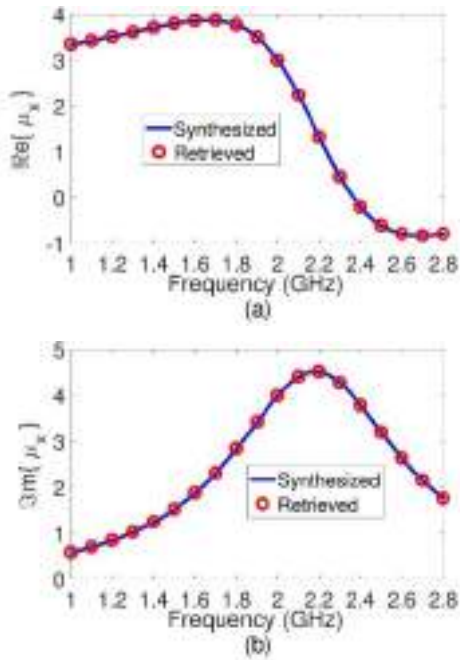


Figure 3. (a) Real and (b) imaginary parts of the synthesized and retrieved μ_x versus frequency.

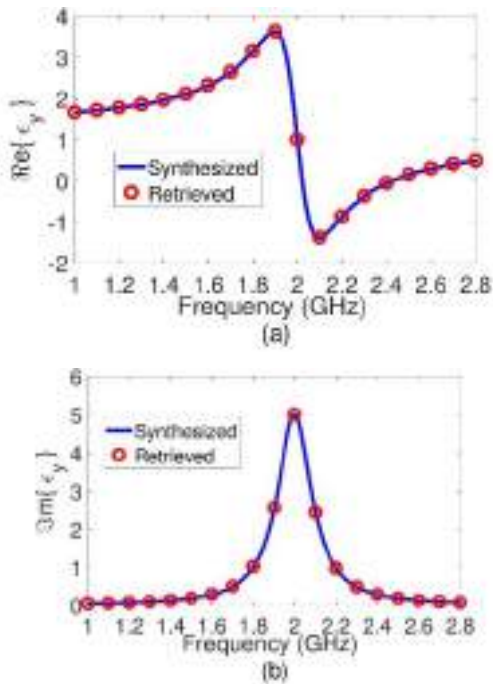


Figure 4. (a) Real and (b) imaginary parts of the synthesized and retrieved ϵ_y versus frequency.

After validation of our proposed method, we also examined its accuracy when there is some noise present in S-parameters. To reflect the effect of noise, a random uncorrelated noise was added to the real and imaginary parts of S-parameters (Hasar, 2018). Randomness is assumed to be normally distributed with the different mean values ρ and standard deviations σ . Fig. 6 shows the extracted ϵ_y (the last parameter in the extraction process) of the analyzed sample when noise with $\rho=0$ and $\sigma=0.015$ (a large value in many S-parameter measurements (Hasar, 2018)) is added all S-parameters of the first guide. It is seen from Fig. 6 that the retrieved ϵ_y of the sample follows its

synthesized ϵ_y for even high amount of noise is present, demonstrating the resistance of the proposed method for a relatively high noise in S-parameters.

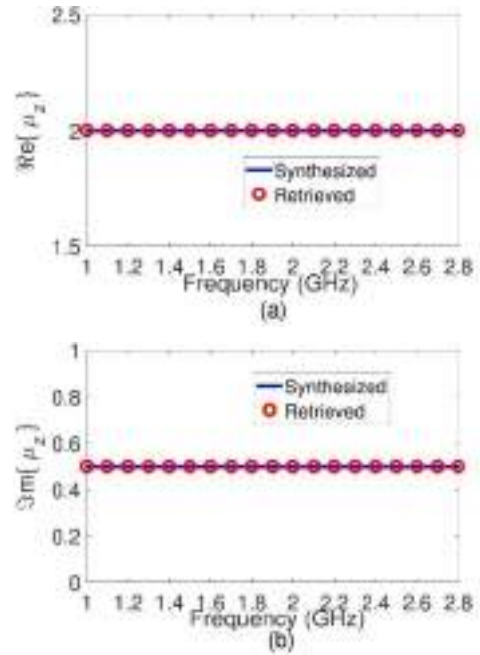


Figure 5. (a) Real and (b) imaginary parts of the synthesized and retrieved μ_z versus frequency.

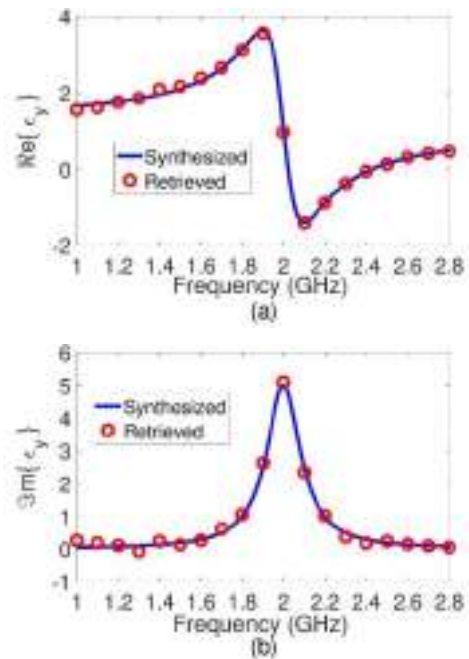


Figure 6. (a) Real and (b) imaginary parts of the synthesized and retrieved ϵ_y versus frequency when noise with $\rho=0$ and $\sigma=0.015$ is added to all S-parameters of the first guide.

For the quantitative effect of noise on the extracted parameters, we can perform some numerical analysis using the mean percentage error (MPE) (Hawro et al., 2019).

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| \frac{S_j - R_j}{S_j} \right| \cdot 100\% \quad (19)$$

Here, n is the number of frequency points, j is the frequency point, and S_j and R_j are the values synthesized and retrieved at the frequency point j , respectively. Accordingly, Table 1 shows the MPE values among the synthesized and retrieved ϵ_y values of a sample when there is no noise (Fig. 4) and there is some noise (Fig. 6).

Table 1. MPE values among the synthesized and retrieved ϵ_y values of a sample when there is no noise (Fig. 4) and there is some noise (Fig. 6).

Figure	MPE (%)	
	Real part of ϵ_y	Imaginary part of ϵ_y
Fig. 4 (no noise)	1.202×10^{-15}	4.229×10^{-15}
Fig. 6 (some noise)	0.222	0.404

4. Conclusions

A double waveguide method is proposed for extraction of electromagnetic properties of biaxial bianisotropic samples with strong coupling between electric and magnetic fields. The method relies on application of S-parameters of two waveguides with different cross sections operating at their dominant modes. The effect of noise in the extraction process of the proposed method is also considered to examine its accuracy against noise.

References

- Akhtar, M.J., Feher, L.E., & Thumm, M. (2006). A waveguide-based two-step approach for measuring complex permittivity tensor of uniaxial composite materials. *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, 54(5), 2011-2022.
- Akhter, Z. & Akhtar, M.J. (2016). Free-space time domain position insensitive technique for simultaneous measurement of complex permittivity and thickness of lossy dielectric samples. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 65(10), 2394-2405.
- Allen, K.W., Scott, M.M., Reid, D.R., Bean, J.A., Ellis, J.D., Morris, A.P., & Marsh, J.M. (2016). An X-band waveguide measurement technique for the accurate characterization of materials with low dielectric loss permittivity. *Rev. Sci. Instrum.*, 87(5), 054703.
- Baker-Jarvis, J., Vanzura, E.J., & Kissick, W.A. (1990). Improved technique for determining complex permittivity with the transmission/reflection method. *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, 38(8), 1096-1103.
- Barroso, J.J. & Hasar, U.C. (2012). Constitutive parameters of a metamaterial slab retrieved by the phase unwrapping method. *J. Infrared Milli. Terahertz Waves*, 33(2), 237-244.
- Chen, H., Zhang, J., Bai, Y., Luo, Y., Ran, L., Jiang, Q., & Kong, J.A. (2006). Experimental retrieval of the effective parameters of metamaterials based on a waveguide method. *Optics Express*, 14(26), 12944-12949.
- Chen, L.F., Ong, C.K., Neo, C.P., Varadan, V.V., & Varadan, V.K. (2004). *Microwave electronics: Measurement and materials characterization*. John Wiley & Sons.
- Damaskos, N., Mack, R.B., Maffett, A.L., Parmon, W., & Uslenghi, P.L.E. (1984). The inverse problem for biaxial materials. *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, 32(4), 400-405.
- Hasar, U.C., Barroso, J.J., Sabah, C., Kaya, Y., & Ertugrul, M. (2013). Stepwise technique for accurate and unique retrieval of electromagnetic properties of bianisotropic metamaterials. *J. Opt. Soc. Am. B*, 30(4), 1058-1068.
- Hasar, U.C., Barroso, J.J., Karacali, T., & Ertugrul, M. (2015). Reference-plane-invariant and thickness- and branch-index-independent retrieval of effective parameters of bi-anisotropic metamaterials. *AIP Adv.*, 5, 017123.
- Hasar, U.C., Muratoglu, A., Bute, M., Barroso, J.J., & Ertugrul, M. (2017). Effective constitutive parameters retrieval method for bianisotropic metamaterials using waveguide measurements. *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, 65(5), 1488-1497.
- Hasar, U.C. (2018). Self-calibrating transmission-reflection technique for constitutive parameters retrieval of materials. *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, 66(2), 1081-1089.
- Hasar, U.C. & Ozturk, G. (2018). Note: Parameter extraction of samples without the direct application of the passivity principle from reference-plane-invariant measurements. *Rev. Sci. Instrum.*, 89, 076104.
- Hasar, U.C., Yildiz, G., Bute, M., & Muratoglu, A. (2018). Reference-plane-invariant waveguide method for electromagnetic characterization of bi-axial bianisotropic metamaterials. *Sens. Actuators A Phys.*, 283, 141-150.
- Hawro, P., Kwater, T., Pekala, R., & Twarog, B. (2019). Soft sensor with adaptive algorithm for filter gain correction in the online monitoring system of a polluted river. *Applied Sciences*, 9(9), 1883.
- Jablonskas, D., Lapinskas, S., Rudys, S., Ivanov, M., & Banys, J. (2017). Full-wave finite space model of open-ended coaxial line for dielectric spectroscopy of liquids. *Rev. Sci. Instrum.*, 88(8), 084703.
- Jha, A.K. & Akhtar, M.J. (2014). A generalized rectangular cavity approach for determination of complex permittivity of materials. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 63(11), 2632-2641.
- Siddiqui, O.F., Mojahedi, M., & Eleftheriades, G.V. (2003). Periodically loaded transmission line with effective negative refractive index and negative group velocity. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 51(10), 2619-2625.
- Xu, X. (2018). Double waveguide method to retrieve the electromagnetic parameters of biaxial anisotropic materials. *Electron. Lett.*, 54(21), 1224-1226.



Sütçü Manda Irklarının Performans ve Verimliliğini Etkileyen Faktörler ve Türkiye'deki Geleceği

Asiye Yılmaz Adkinson¹, Yusuf Konca^{2*}

¹Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 38039, Melikgazi-Kayseri, Türkiye, (ORCID:0000-0003-0311-5965), ayadkinson@erciyes.edu.tr

^{2*} Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 38039, Melikgazi-Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6231-1512), yusufkonca@erciyes.edu.tr

(İlk geliş tarihi: 13 Mart 2021 ve Kabul tarihi 4 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.896113)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz Adkinson, A. & Konca, Y. (2021). Sütçü Manda Irklarının Performans, Süt Verimini ve Kalitesini Etkileyen Faktörler ve Türkiye'deki Geleceği. *European Journal of Science and Technology*, (25), 498-508.

Öz

Manda başta Asya ülkeleri olmak üzere Dünya'da yetiştiriciliği yapılan önemli çiftlik hayvanlarından birisidir ve inekten sonra süt üretimine olan katkısı ikinci sırada yer almaktadır. Mandalar bataklık ve nehir mandası olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Nehir mandaları iri yapılı ve süt üretimi amacıyla yetiştirilirken bataklık mandaları daha küçük yapılı ve yük taşıma amacıyla kullanılmaktadır. Dünya'da 72 çeşit manda ırkı vardır ve bunların 57'si Asya'da bulunmakta ve bunlar içerisinde süt üretimi için yetiştiriciliği yapılan 22 manda ırkı vardır. Manda ırkları arasında en yüksek süt verimi ile ilk sırada Akdeniz mandaları (900-4000 kg/laktasyon) ve bu ırkı Mehsana ve Jafarabadi ırkları (1800-2700 kg/laktasyon) takip etmektedir. Türkiye'de yetiştirilen Anadolu mandaları süt verim özellikleri (1000 kg/yıl) bakımından diğer manda ırklarına göre gerilerde yer almaktadır. Mandaların diğer ruminant hayvanlara göre düşük kaliteli meralardan ve kötü kaliteli kaba yemlerden yararlanma kabiliyetleri sığırlardan ve koyunlardan daha iyidir. Türkiye'de mandalardan elde edilen gelirin ana unsuru manda sütü ve süt ürünleridir. Manda kaymağı ve yoğurduna olan talebin fazla oluşu nedeniyle manda sütü sığır sütüne göre daha yüksek bir fiyatla satılmaktadır. Dünya'da manda yetiştiriciliği daha çok ekstansif şartlarda yapılmakta ve modern olmayan barınaklarda barındırılmaktadır. Bakım ve besleme şartlarındaki olumsuzluklar nedeniyle süt ve döl verimleri ineklere göre düşüktür. Ancak, İtalya'da olduğu gibi ıslah ve iyi bakım ve besleme şartlarında verimlerinin yükseldiği ve elde edilen kar arttığını gösteren kayıtlar mevcuttur. Aynı zamanda, manda malakları da olumsuz şartlarda bakım ve beslemeye maruz kaldığından büyüme oranları düşük ve ölüm oranları yüksek olmaktadır. Bu çalışmada, bazı sütçü mandalar ile Anadolu mandalarının performans ve verim özellikleri incelenmiş ve Türkiye Manda üretiminin geliştirilmesinde katkı sağlayabilecek bazı tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sütçü manda, süt üretimi, malak, gelecek stratejileri.

Factors Affecting the Performance and Productivity of Dairy Buffalo Breeds and Future Perspective in Turkey

Abstract

Water buffalo is one of the important farm animals that are grown especially in Asian countries and its contribution to milk production is in the second after cows in the world. Buffaloes are divided into two main groups as swamp and river buffalo. River buffaloes are large size and bred for milk production, while swamp buffaloes are smaller size and used for draught animals. There are 72 types of buffalo breeds in the world, 57 of which are in the Asia, and there are 22 buffalo breeds that are bred for milk production. The mediterranean buffaloes (900-4000 kg/lactation) are in the first breed with the highest milk yield among buffalo breeds, followed by Mehsana and Jafarabadi breeds (1800-2700 kg/lactation). The Anatolian buffaloes raised in Turkey are lower milk yield (1000 kg/year) than other buffalo breeds. Compared to other ruminant animals, the ability of buffaloes to benefit from poor quality pastures and low quality roughages are better than cattle and sheeps. The main element of income from buffaloes in Turkey is buffalo milk and dairy products. Due to the high demand for buffalo kaymak and yoghurt, buffalo milk is sold at a higher price than cow's milk. In the world, water buffalo breeding is mostly carried out in extensive conditions and housed in non-modern shelters. Due to the adverse conditions in the care and feeding, milk and progeny yields are lower than cows. However, in Italy, there are records showing increased yields and increased profits under good care and feeding conditions. At the same time, since buffalo calves are exposed to care and feeding under unsuitable conditions, their growth rates are low and mortality rates are high. In this study, performance and yield characteristics of some dairy buffaloes and Anatolian buffaloes were examined and some recommendations were made that could contribute to develop of Turkish buffalo production.

Keywords: Dairy buffalo, milk production, calf, future strategies.

* Sorumlu Yazar: yusufkonca@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Manda Bovidae familyasının sığırlar (Bovinae) alt familyasına ait bir memeli türüdür ve sınıflandırılmış iki türü vardır (Chantalakhana ve Bunyavejehewin, 1994). Bunlar Afrika yabani mandaları (*Synceru*) ve evcilleştirilen Asya mandalarıdır (*Bubalus bubalis*). Asya mandaları ise nehir mandaları (*Bubalus bubalis bubalis*) ve bataklık mandaları (*Bubalus bubalis carabensis*) olarak iki alt türe ayrılmaktadır (Medhammar ve ark., 2012). Mandalar diğer çiftlik hayvanlarına göre kromozom sayıları bakımından önemli derecede farklılık göstermektedir. Nehir mandalarında 50 ve bataklık mandalarında 48 kromozom bulunmaktadır. Afrika mandaları da kromozom sayıları 52 ve 54 olan sırasıyla Cape manda (*Syncerus caffer caffer*) ve orman mandası (*Syncerus caffer nonous*) olarak ikiye ayrılırlar. Bu iki ırk kendi arasında çiftleştirilmiş 53 kromozomlu mandalar elde edilmiştir ancak bunlardan elde edilen melez mandaların dengesiz gamet dağılımı nedeniyle döl verimleri düşüktür (Iannuzzi, 2013). Türkiye’de yetiştirilen ırkın tamamı Anadolu mandasıdır ve nehir mandaları gibi 50 kromozoma sahiptir (Soysal, 2013). Kromozom sayısı nedeniyle sığırlardan (60 kromozom) önemli derecede farklılık gösterirler (Yavasoglu ve ark., 2014). Bataklık mandalarının tanınmış ırkları yoktur ve bunlar daha çok yük hayvanları olarak kullanılırlar ve süt verimleri de düşüktür, bunun aksine nehir mandaları süt üretim amacıyla kullanılırlar (Naveena ve Kiran, 2014).

Nehir mandaları dünyadaki manda varlığının yaklaşık %70’ini oluşturmaktadır. Nehir mandaları Hindistan, Pakistan ve yakın doğudaki bazı ülkelerde süt üretiminin ana kaynağıdır (Naveena ve Kiran, 2014; Siddiky ve Faruque, 2018). Mandalar süt üretimi açısından süt ineklerinden sonra dünyadaki en önemli ikinci türdür ve yüksek kalitede süt üretirler (Coroian ve ark., 2013). Manda sütü öncelikle peynir, özellikle de İtalya’da mozzarella üretmek için kullanılır (Aspilcueta-Borquis ve ark., 2012). Manda sütünden yapılan peynirler tipik dokusal özellikler sergiler ve doğal gereği benzersiz yapıları ve üstün duyuşal niteliklere sahiptir (Hofi, 2013).

Dünya’da 72 çeşit manda ırkı vardır ve bunların 57’si Asya’da bulunmaktadır ve toplam manda varlığının %97,1’i Asya kıtasında yetiştirilmektedir (FAOStat, 2019). Bazı Asya ülkelerinde üreticilerin en önemli ekonomik getiri kaynaklarından birisi mandalardan elde edilen gelirdir (Iannuzzi, 2013). Manda sütünün fiyatı, sığır sütünün yaklaşık üç katı kadar bir fiyata satılabilmekte (Rosati ve Van Vleck, 2002; Borghese, 2013) ve bu durumda karlılık artmaktadır.

Mandalar genellikle gelişmekte olan ülkelerde, ekstansif şartlarda, küçük ölçekli işletmelerde, çevrenin sunduğu imkanlara (otlak, anız, çalılar vb.) göre ve çoğu su kenarında otlayarak beslenmelerini sağlarlar (Boselli ve ark., 2010). Mandalar özellik olarak düşük kaliteli kaba yemler ve kötü çevre koşullarına uyum sağlamaya yeteneklidirler ve çeşitli sığır hastalıklarına karşı daha dirençlidirler (Pasha, 2013). Bununla birlikte, mandaların dünyadaki yetiştirildiği bölgelere bakılmaksızın ineklere göre verimleri düşüktür. Mandaların geç ergenliğe ulaşması, zayıf östrus olgusu, doğum sonrası geç kızgınlık gösterme ve en önemlisi özellikle suni tohumlamada döl tutma oranının düşük olması üreme performansını azaltmaktadır (Phogat ve ark., 2016). İtalya’da geçmiş 50 yıldan önceye dayanan organizasyonlar ve yapılan çalışmalar manda yetiştiriciliğinde önemli ilerlemeler sağlanmasına neden olmuştur. Nitekim İtalya’da mandalardan bir laktasyonda alınan süt verimini artırmaya yönelik çalışmalar

yanında, mozzaeralla peyniri veriminin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar da sürdürülmektedir. Çünkü üreticinin geliri, ilk olarak mozzarella peyniri ve takiben gebe düve satışı, et üretimi ve son olarak yüksek genetik değere sahip sperma ve embriyo satışına dayanmaktadır (Borghese, 2013).

Bir kısım ülkelerin ana süt kaynağı ve gelirinde önemli bir paya sahip olan manda üretimi, ülkemizde de süt ve ürünlerinin fiyatının inek sütüne göre daha yüksek olması nedeniyle son yıllarda toplam sayısı ve süt üretimi önemli bir artış göstermiştir (TÜİK, 2020). Son zamanlarda damızlık manda düvesi yetiştiriciliğinin desteklenmesi amacıyla belli kriterleri sağlayan manda işletmelerine hibe desteği sağlanmaktadır (Resmi Gazete, Sayı: 31397). Ayrıca Tarım ve Orman Bakanlığı’nın anaç manda ve malak desteklemesi de bulunmaktadır (20/11/2019 tarih ve 30954 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 2019/54 No’lu Tebliğ). Üreticilere sağlanan bu destekler nedeniyle gelecek yıllarda manda sayısındaki artışın devam edeceği beklenmektedir.

Bu derlemede, sütçü manda ırklarının performans ve verim özellikleri yanında verimliliğini etkileyen unsurlar ve malakların bakım ve besleme yönetimi konularında bilgiler verilmiş ve Türkiye’de manda üretiminde izlenecek yollar konusunda önerilerde bulunulmuştur.

2. Ülkelerin Manda Varlıkları ve Süt Üretimleri

Hindistan dünya manda varlığının sayıca en çok olduğu ülkedir (toplamın %54’ü) ve ikinci olarak Pakistan (%20’sini) yer almaktadır (FAOStat, 2019). Hindistan’da yaygın 20 manda ırkı vardır ve bunlar içinde en yüksek süt verimine sahip olanları Murrah ve Nili-Ravi ırklarıdır (Nanda ve Nakao, 2003). Pakistan’da ise yaygın manda ırkları Nili, Ravi, Nili-Ravi melezi ve Kundi’dir (Hamid ve ark., 2016).

Manda sayısında olduğu gibi süt üretiminde de benzer yapı vardır ve dünya toplam manda süt üretiminin %69’u, 92 milyon ton ile Hindistan’da yapılmakta ve bunu 34,4 milyon ton üretim ve %26’lık pay ile ikinci sırada Pakistan izlemektedir (Tablo 1). Hindistan ve Pakistan dünya manda sütü üretiminin %95’ini meydana getirmesine rağmen bu iki ülkedeki toplam manda sayısı dünyadaki manda sayısının %73,4’ünü oluşturmaktadır. Türkiye manda sayısı bakımından 13. sırada ve süt üretimi bakımından 9. sırada yer almaktadır. Manda sütünün dünya süt üretimi içindeki payı %15’tir ve bu oranla sığır sütünden (%81) sonra ikinci sırada yer almaktadır. Koyun, keçi ve deve sütünün dünya süt üretimindeki payı sırasıyla; %1, %2 ve %0,35’tir (FAOStat, 2019).

Türkiye’de azalan manda sayısı son yıllarda artarak yaklaşık 180 bin başa ve manda sütü üretimi 80 bin ton civarına ulaşmıştır (FAOStat, 2019). Türkiye’de manda sütünden üretilen kaymak ve manda yoğurdu pazarda en çok tercih edilen ürünlerdendir. İnek sütüne göre yaklaşık 2,25 kat (çiftlik satış fiyatı; inek sütü 2,90

TL/kg, manda sütü 6,50 TL/kg, Kayseri Damızlık Manda Birliği görüşmesinden) daha fazla fiyatla alıcı bulmaktadır. Manda sütünden yoğurt, peynir, tereyağı, kaymak, kaymak lokumu, dondurma, şekerleme ve sütlü tatlılar gibi katma değeri yüksek çok sayıda ürün elde edilmektedir.

Tablo 1. Dünya’da ülkelere göre manda sayısı ve süt üretimi

Ülke	Manda Sayısı (baş)	Süt üretimi (bin ton)	Sıralama
Hindistan	109851678	92000	1.
Pakistan	40002000	34371	2.
Çin	27336130	2928,369	3.
Nepal	5308664	1372,905	4.
Myanmar	4082914	204,750	5.
Mısır	3476396	2109,253	6.
Filipinler	2873561	Kayıt yok	7.
Vietnam	2387887	27,211	8.
Bangladeş	1490000	35,790	9.
Brezilya	1434141	Kayıt yok	10.
Endonezya	1141298	85,474	11.
İtalya	402290	249,450	12.
Türkiye	178397	79,341	13.
İran	72434	128	14.
Dünya	204342419	133752,296	

Kaynak: (FAOStat, 2019).

3. Sütçü Mandaların Orijin, Renk, Büyüklük ve Süt Verim Özellikleri

Mandalar bazı ülkelerde başlangıçta et, süt ve yük taşıma amaçlı kullanılan bir hayvan olarak kabul edilmiş, fakat sonraları süt üretimi için bazı manda ırkları geliştirilmiştir. Dünya’da süt üretim amaçlı kullanılan 22 adet süt ırkı manda bulunmaktadır (Mohran, 1991).

Manda ırklarının orijin, renk, büyüklük, ağırlık, süt verimi ve laktasyon uzunluğu Tablo 2’de verilmiştir. Manda ırkları arasında süt verimi en yüksek olan ırk 900-4000 kg/laktasyon verimine kadar yükselen Akdeniz mandasıdır. Akdeniz mandasını Mehsana (Surti×Murrah melezi olarak elde edilen) ırkı (1800-2700 kg) ve Jafarabadi ırkı (1800-2700 kg) takip etmektedir. Mısır mandası 1200-2100 kg süt verimi ve Surti mandası 2090 kg/laktasyon süt verimi ile izlemektedir. Bu ırkları 2000, 2000, 1800, 1500, 700-1000 kg ve 781 kg ile sırasıyla Nili-Ravi, Kundi, Murrah, Pandharpuri, Anadolu ve Bhadawari ırkları izlemektedir.

Türkiye’de yetiştirilen Anadolu mandalarının süt verimleri ve canlı ağırlık (CA) değerleri diğer ırklara göre düşüktür. Diğer yandan süt ve et verimleri bakımından kombine olarak değerlendirilen Murrah, Nili-Ravi, Kundi, Surti, Jafarabadi ve Akdeniz manda ırklarının dişilerinin büyük yapılı mandalar grubuna girdiği ve bu ırkların et üretimi için de uygun olduğunu göstermektedir (Tablo 2).

Manda türünün yetiştirildiği ve gıda üretiminde kullanıldığı İtalya, Romanya, Bulgaristan, Almanya, Makedonya, Birleşik Krallık, Yunanistan, Sırbistan, Arnavutluk, Ukrayna, Macaristan gibi AB ülkeleri içinde özellikle İtalya’nın süt üretimi, yönetim, beslenme ve üreme teknikleri, kaliteli gıda ve pazarlama stratejilerinin üst düzeyde geliştiği görülmektedir.

İtalya’da 50 bin mandanın kayıtlarından 270 günlük laktasyon döneminde 2220 kg süt verimi elde edildiği ve sütlerde ortalama %8,4 yağ ve %4,6 protein içerdiği ve bir laktasyonda 5 tondan fazla süt veren çok sayıda manda bulunduğu bildirilmiştir (Borghese, 2013). Hindistan’da Murrah ırkından günde 14 ile 18 kg süt elde edilmekte, elit olanlarda 18 ile 31,5 kg/gün süt verimi elde edilmiştir (Hamid ve ark., 2017).

İtalya’da manda sütünden üretilen ricotta, provola, scamorza, treccia ve diğer peynirler ile manda etinden üretilen biftek, rosto, jambon, bresaola, salam gibi pek çok ürün beğeni toplasa da hem İtalya ve hem de uluslararası pazarın en önemli ürünü mozzarella peynirleridir. İtalya’da her yıl 36 bin ton mozzarella peyniri üretilmekte ve 500 milyon Euro değerinde bir gelir elde edilmektedir. Mozzarellanın %82’si İtalya’da tüketilirken %18’lik bir kısım Almanya, Fransa, ABD, İngiltere başta olmak üzere diğer ülkelere ihraç edilmektedir (Borghese, 2013). Mısır gibi bazı ülkelerde, yüksek fiyata rağmen daha güçlü duyuşal özellikleri nedeniyle manda sütü tercih edilmekte ve ülkede üretilen bu sütün önemli bir kısmı içme sütü olarak kullanılmaktadır (Helal ve Abdel- Rahman, 2010).

Tablo 2. Manda ırklarının orijin, renk, büyüklük ve süt verim özellikleri¹

İrk	Orijin ülke	Renk	Büyüklük	Ağırlık (dişi), kg	Süt verimi, kg	Laktasyon uzunluğu, gün
Akdeniz	İtalya	Siyah, kahverengi, koyu	Büyük	450-600	900-4000	270
Mehsana	Hindistan	Siyah, gri, kahverengi	Orta	430	1800- 2700	305
Jafarabadi	Hindistan	Black	Büyük	550	1800-2700	350
Mısır manda	Mısır	Siyah, kır	Orta	500	1200-2100	210-280
Surti	Hindistan	Kızıl-gümüşi	Orta	550-650	2090	350
Nili-Ravi	Hindistan/	Siyah	Büyük	600	2000	305
Kundi	Pakistan	Siyah	Büyük	600	2000	320
Murrah	Hindistan	Parlak siyah	Büyük	650	1800	305
Pandharpuri	Hindistan	Siyah	Orta	450	1500*	350*
Anadolu	Türkiye	Siyah	Orta	200-500	700-1000	220-270
Bhadawari	Hindistan	Bakır veya gri siyah	Orta	425	781**	272**

¹(Moioli ve Borghese, 2005), *(Ambardekar, 2000), **(Moioli and Borghese, 2005’den naklen Sethi, 2003).

4. Sütçü Manda Irklarının Döl Verim Özellikleri

Çeşitli manda ırklarının doğum ve kuruda kalma gibi döl verimine ilişkin özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Mandaların döl verimleri ve bununla ilişkili olarak ilk malaklama yaşı, malaklama aralığı ve kuruda kalma sürelerinin de dikkate alınması gereklidir. Malaklama aralığı, çiftliklerde doğurganlık indeksi olarak kullanılan önemli bir parametredir. Mandalar genellikle üç yılda iki yavru verirler, ancak iyi yönetim ve besleme koşullarında sürülerde 11-12 aylık malaklama aralıkları sağlanabilir. Süt üretimi amaçlı yetiştirilen nehir mandalarında, malaklama aralığı büyük ölçüde üreme yılı ve mevsimi (Gwazdauskas ve ark., 1975) ile çiftlik yönetimi ve sürü büyüklüğüne bağlı olarak değişebilmektedir. Pandharpuri manda ırkı, üreme kabiliyetinin yüksek olmasıyla ünlüdür ve her 12-13 ayda bir malak üretirler (Ambardekar, 2000).

Mandalarda malaklama aralıkları ırklara ve bakım yönetim uygulamalarına göre önemli miktarda değişebilmektedir. Tablo 3'te görüldüğü gibi malaklama aralığı 402 ila 556 gün arasında değişmiştir. Rathod ve ark. (2018) Hindistan mandalarında malaklama aralığındaki büyük değişkenlik bulunduğu ve bu değişkenliklerin doğum sonrası kızgınlık, besleme ve yönetim uygulamalarıyla azaltılabileceğini bildirilmiştir. Bu tür özelliklerdeki değişkenliğin azalması, yaşam süresi boyu üretim artışı için de oldukça önemlidir.

Salari ve ark. (2013) birden çok doğum yapmış mandalara göre bir kez doğum yapmış Akdeniz manda ineklerinin %12 daha fazla süt verdiklerini (8,47 kg/gün), süt üretiminin 16 ile 60 günler arasında arttığını (11,35 kg /gün/ baş) ve laktasyon sonundaki süt

yağı (%8,64) ve protein oranının pik verim dönemine göre daha yüksek olduğunu (4,84'e karşı 4,93) bildirmişlerdir.

Anadolu mandalarında malakların doğum ağırlığı, annenin canlı ağırlığı ve yaşının artışıyla önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca, erkek malakların doğum ağırlığı dişi malaklardan daha yüksek olmaktadır (Uğurlu ve ark., 2016). Kış-ilkbahar döneminde doğum yapan mandaların toplam süt verimi ve laktasyon uzunluğu yaz-sonbahar dönemine göre daha yüksek bulunmuştur (Uğurlu ve ark., 2016; Ekiz ve ark., 2018). Farklı fenotipik özellikler ile süt üretimi arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan çalışmalar, siyah renkli dişi mandaların koyu kahverengi renkli dişilerden daha fazla süt ürettiğini göstermiştir (2195 ± 34'e karşı 1863 ± 30 kg). Buna karşılık hayvanların boynuz şekilleri ve boylarının süt verimi ile ilişkisinin bulunmadığı belirlenmiştir. Ancak, sakın huylu olan mandalarda süt verimi (2120 ± 27 kg), gergin olanlardan (1829 ± 49 kg) ve agresif (1743 ± 147 kg) olanlardan daha yüksek olmuş ve deri kalınlığı arttıkça süt veriminin azaldığı belirlenmiştir (Bharadwaj ve ark., 2007).

Tablo 3. Farklı manda ırklarının üreme özellikleri

Irklar	Süt verimi, kg	Günlük verimi	süt gün	Malaklama aralığı, gün	Laktasyon uzunluğu, gün	Kuru dönem, gün	İlk malaklama yaşı, gün
Kundi (Ghaffar ve ark., 2007)	1357	6,19	556,15		218,72	347,64	1123,18
Kundi (Bilal ve ark., 2006)	2315	7,12	551		325	226	1640
Nili Ravi (Bilal ve ark., 2006)	2430	7,27	512		322	190	1390
Akdeniz (Rosati ve Van Vleck, 2002)	2287	8,47	-		270	-	-
Surti (Rathod ve ark., 2018)	898,8	3,54	456,09		254,30	212,36	1373,52
Murrah (Charlini ve Sinniah, 2015)	1249	4,19	479		298	180	1845
Nili-Ravi (Charlini ve Sinniah, 2015)	1187	4,99	412		238	181	1329
Surti (Charlini ve Sinniah, 2015)	1197	4,17	489		287	185	1311
Mehsana (Galsar ve ark., 2016)	1708,62	5,95	460,97		298,84	165,35	1551,31
Anadolu (Soysal ve ark., 2018)	1223,9	5,30	417,51		230,99	-	-
Anadolu (Alkoyak ve Öz, 2020)	1035,5	3,98	426,35		260,26	-	-
Mısır (Marai ve ark., 2009)	1590,0	6,52	402,6		244,1	148,7	753
Anadolu (Şekerden ve Küçükkepçici, 1999)	1070	4,84	387		221	-	1313
Anadolu (Koçak ve ark., 2019)	1087	4,44	450		245	-	-

5. Manda Irklarının Süt Kompozisyonları

Farklı manda ırklarının süt kompozisyonları Tablo 4'te verilmiştir. Manda sütü sahip olduğu özellikleri sütteki yağ, kuru madde, protein ve kazein değerlerinden almaktadır. Mandalarda süt veriminin yüksek olması arzulanan bir durumdur. Ancak, mandaların ineklere göre düşük süt verimine rağmen üretimlerine devam ettirilmesi, elde edilen gelirin süt ürünlerinin yüksek fiyata satılarak tatminkâr bir gelir elde edildiğinden kaynaklanmaktadır (Borghese, 2013; Rosati ve Van Vleck, 2002).

Tablo 4'ün incelenmesinden mandalardan süt proteini en düşük %3,3 (Nili-Ravi ırkında) ve en yüksek %5,4 (Mehsana ırkında) arasında olduğu tespit edilmiştir. Yağ bakımından en yüksek oran %8,8 ile Jafarabadi ırkında ve en düşük olarak %5,98 ile Nili-Ravi ve Anadolu mandasında olduğu görülmektedir. Laktoz bakımından en düşük değerler Nili-Ravi ırkına ve en yüksek değerler ise Anadolu mandası ırkına ait olmuştur. Kuru madde bakımından ise en düşük değer %14,96 ile Surti ırkında ve en yüksek değer %19,03 ile Murrah ırkında elde edilmiştir. Kül

bakımından ise en düşük değer %0,67 ile Anadolu mandasında ve en yüksek değer %1,01 ile Nili-Ravi'den elde edilmiştir. Kazein bakımından ise en düşük değer %3,07 ile Mehmana ırkında ve en yüksek değer %4,43 ile Murrah ırkından elde edilmiştir. Yağsız kuru madde (SNF) bakımından en düşük değer %8,67 ile Nili-Ravi ırkında ve en yüksek değer %11,50 ile Bhadawari ırkında elde edilmiştir. Süt Ph'sı bakımından ise en düşük değer %6,54 ile Murrah ırkında ve en yüksek değer %6,90 ile Jafarabadi ırkından elde edilmiştir.

Tablo 4. Farklı manda ırklarının süt kompozisyonları

Yazar	Protein, %	Yağ, %	Laktoz, %	Kuru madde, %	Ham kül, %	Kazein %	Yağsız kuru madde, %	pH
Akdeniz (Costa ve ark., 2020)	4,49	7,95	4,78	-	-	-	-	6,75
Bhadawari (Misra ve ark., 2008)	3,92	7,43	-	17,70	-	3,16	8,99	-
Mehsana (Misra ve ark., 2008)	3,87	6,46	-	15,59	-	3,07	9,13	-
Murrah (Misra ve ark., 2008)	4,03	7,53	-	16,53	-	3,20	9,00	-
Surti (Misra ve ark., 2008)	3,93	6,17	-	14,96	-	3,11	8,80	-
Jafarabadi (Patiño ve Guazirolı, 2005)	5,20	8,8	4,55	18,42	0,78	-	-	6,90
Murrah (Wang ve ark., 2019)	4,76	7,48	4,76	17,80	0,8	4,43	-	6,54
Nili-Ravi (Wang ve ark., 2019)	4,38	7,31	4,73	17,21	0,8	4,04	-	6,55
Murrah (Ahmad ve ark., 2008)	4,35	7,0	5,20	17,45	0,84	3,46	-	6,81
Anadolu (Koçak ve ark., 2019)	4,49	7,95	6,37	-	-	-	-	-
Nili-Ravi (Javed ve ark., 2013)	3,3	5,98	4,58	-	0,83	-	8,67	-
Nili-Ravi (Nawaz ve ark., 2007)	3,9	7,74	4,14	-	1,01	-	9,05	-
Murrah (Zhou ve ark., 2018)	4,92	7,82	5,18	19,03	-	-	-	-
Nili-Ravi (Zhou ve ark., 2018)	4,54	6,77	5,28	17,74	-	-	-	-
Surti (Kapadiya ve ark., 2016)	4,48	8,30	4,86	18,45	0,81	-	9,48	-
Murrah (Barbosa ve ark., 2020)	4,01	6,99	4,72	16,85	-	-	-	-
Akdeniz (Ceniti ve ark., 2019)	4,65	8,41	4,48	-	-	3,77	-	6,73
Mehsana (Patil ve ark., 2019)	5,40	6,1	6,2	18,80	-	-	-	-
Bhadawari (Patil ve ark., 2019)	4,80	7,0	5,1	18,10	-	-	11,5	-
Anadolu (Degirmencioglu ve ark., 2015)	4,95	8,03	-	-	-	-	10,29	-
Anadolu (Sahin ve ark., 2016)	4,85	5,98	5,17	16,99	-	3,61	-	-
Anadolu (Yilmaz ve ark., 2017)	3,40	7,09	4,57	16,08	0,67	-	-	6,68

6. Sütçü Mandaların Canlı Ağırlık ve Yem Değerlendirme Özellikleri

Çiftlik hayvanlarında CA, canlı ağırlık artışı (CAA), yem tüketimi ve yemden yararlanma performansları ekonomik olarak dikkate alınan önemli özelliklerdendir. Hayvanlar tükettikleri yemleri öncelikle yaşama payı ve geri kalan kısmını da verim payı olarak kullanırlar. Canlı ağırlık artıka, çevre ısı hayvan istek sınırlarından uzaklaştıkça, hastalık ve parazitlerin mevcudiyeti gibi durumlarda hayvanların yaşama payı gereksinimi artar ve verim için kullanılacak besin madde miktarı azalır. Hayvanlar bazen yüksek verimi devam ettirmek için vücutlarından bir miktar depo besin maddelerini kullansalar da yaşamın tehlikeye gireceği noktaya gelindiğinde verim azalır ve hayatta kalma fonksiyonu ön plana geçirilir. Karlı bir hayvancılıkta yemin ürüne dönüşme oranı, karlılığı ve dolayısıyla sürdürülebilirliği etkileyen en önemli faktörlerdendir. Yemin süte dönüşüm oranı (yemden yararlanma kabiliyeti) bakımından değerlendirildiğinde, aynı miktar süt veren hayvanlardan CA'ı yüksek olanların yaşama payı daha yüksek olduğu için daha çok yem tüketimi gerekecektir ve aynı süt verimine sahip zayıf yapılı bir hayvan daha karlı olabilecektir. Ancak, hayvanların eti ve sütünden birlikte yararlanılıyorsa, o zaman süt verimi ve CA'ı yüksek hayvanlar kombine verim için tercih edilirler. Tablo 2'de görülebileceği gibi mandalarda hem CA ve hem de süt verimi yüksek olan (Murrah, Akdeniz, Surti ve Nili-Ravi gibi) ırklar bulunmaktadır. Bunların et ve süt gelirleri doğal olarak daha yüksek olacaktır.

Mandaların kuru madde tüketimi, genellikle süt sığırlarına göre daha düşüktür (Terramoccia ve ark., 2000). Manda düveleri, otlakta tutulduğunda, karışık rasyonlarla beslenen kapalı ortamlarda yetiştirilen hayvanların gösterdiği benzer üretim ve üreme performansları gösterebilirler (Sabia ve ark., 2015). Yapılan bazı çalışmalarda mandaların sığır ve koyunlara göre selüloz ve proteinden daha iyi yararlandıkları gösterilmiştir (Sarwar ve McDonough, 1990). Mandaların düşük kaliteli yemleri sindirim üstünlükleri, kötü şartlara karşı adaptasyon kabiliyetlerinin yüksekliğini de göstermektedir.

Mandalar Asya ülkelerinde geleneksel yöntemlerle kötü şartlarda barındırılmakta ve beslenmektedir. Bununla birlikte mandaların çevre bakım ve beslenme şartlarının iyileştirilmesi süt veriminde artışa neden olabilmektedir. Nitekim yapılan bir çalışmada, doğumuna 60 gün kalmış olan gebe Surti mandaları ikiye ayrılmış ve kontrol grubu hayvanlara sadece yem verilirken diğer gruba içinde konsantr yem olan ilave yem verilmiştir. Mandalar doğum öncesi her iki grupta benzer miktarda kuru madde yem tüketmişler ancak doğum sonrası konsantr yem verilen grupta kuru madde tüketimi (10,77 kg'a karşın 12,33 kg) ve günlük süt verimi artış göstermiştir (2.16'ya karşın 3,61 kg/gün). Ancak, gruplar arasında yağ, laktoz, süt proteini, yağsız kuru madde, vücut kondisyon skoru ile malak doğum ağırlıkları benzer bulunmuştur. Net gelir muamele grubunda kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. Neticede Surti mandalarına ilave yemleme yapmak erken laktasyon döneminde üretim performansını artırmış ve daha ekonomik bir üretim sağlamıştır (Raval ve ark., 2019).

Asya ülkelerinde mandaların ana yiyecek kaynaklarından birisi yüksek miktarda lignin içerikli sindirim oranı düşük samanlardır. Bu ülkelerde yağışların yıl içindeki dağılımı nedeniyle, düzensiz yem üretimi ve düşük kaliteli kaba yemlerle hayvanların beslenmeleri sonucunda düşük performans ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda, mandaların beslenmesinde kullanılan

yemlerin çeşitlendirilmesi ve yerel yem kaynaklarının sindirim derecelerinin artırılmasına yönelik olarak kullanılan yem katkıları ve uygulanan diğer yöntemler hayvanların beslenmelerinde bir miktar iyileşmeler sağlamıştır (Sarwar ve ark., 2009; Wynn ve ark., 2009). Hayvanların beslenmelerinde meydana getirilecek iyileşmeler, süt verimi yanında döl verimini artırabilir ve ilk malaklama yaşı ve aralığını da düşürülebilir (Qureshi ve ark., 2002; Drost, 2007).

İlk malaklama yaşının geç olması mandalar için bir karakteristik özelliği değildir, fakat büyüme dönemindeki besleme yönetimi ile yakından ilişkilidir. Büyüme döneminde hayvanlar yeterli CAA gösterirlerse ilk malaklama yaşındaki gecikme de azalmaktadır (Qureshi ve ark., 2002). Mandalarda iyi bir büyüme sağlamak için, doğumla birlikte iyi bir besleme stratejisi uygulanması gereklidir. Günlük CAA yüksek (631 g/gün) olan manda düvelerinde ilk kızgınlık görülme süresi daha kısa (598 gün) iken düşük CAA kazananlarda (441 g/gün) bu süre (658 gün) uzamaktadır (Borghese, 2005).

Kış mevsiminde soğuk ve sert rüzgarlar ve düşük sıcaklıkta aşırı yağışlara maruz kalma, yaz mevsiminde de gölgeğin veya hayvanın içine girebileceği su birikintilerinin olmadığı durumlarda yüksek oksidatif stresin oluşması neticesinde üreme etkenliğinde başarısızlıklara neden olabilmektedir (Zicarelli ve ark., 2007). Hayvanlarda oksidatif stresin önlenmesinde bazı vitaminler sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada (Nayyar ve ark., 2002), rasyonda vitamin E bulunmasının oksidatif strese karşı hayvanları daha güçlü yaptığını ve servis periyodunu kısalttığı, diğer bir çalışmada da (Panda ve ark., 2006), rasyona E vitamini ilavesinin doğum sonrası kızgınlık aralığını ve kuruda kalma süresini azalttığı bildirilmiştir. Benzer şekilde El-Barody ve ark. (2001) niasin ilavesinin de malaklama aralığını azalttığını, doğum sonrası tekrar kızgınlık oranını artırdığını ve kuruda kalma dönemini kısalttığını göstermişlerdir.

Ruminant hayvanların kızgınlık döngülerini düzenli bir şekilde devam ettirebilmeleri için başta enerji olmak üzere protein ve diğer besin maddelerince yeterli beslenmeleri gerekir. Saman ve düşük kaliteli yemlerle ağırlıklı olarak beslenildiğinde hayvanların gereksinimi olan yeterli besin maddeleri temin edilemez ve bu nedenle ovulasyonda gerekli olan FSH ve LH hormonlarının düzenli salınımı gerçekleşmez (Aksoy ve ark., 1981). Mandaların bilhassa kış dönemlerinde tamamen kalitesiz kaba yemlere dayalı beslenmeleri kızgınlığı azaltan önemli bir faktör olacağı düşünülmelidir. Yüksek süt verimli mandaların besin madde gereksinimleri de yüksektir ve bu ihtiyaçlar ancak günlük verilen konsantr yem miktarını artırarak karşılanabilir. Bununla birlikte rasyonda yüksek konsantr oranı rumende düşük asetat/propiyonat oluşumuna neden olarak rumen asidozunu artırmakta ve süt verimi ve yağın azalmasına neden olmaktadır (Andersen ve ark., 1999).

Warriach ve ark. (2015) optimum şartlarda nehir mandaları 15-18 aylık yaşlarda bataklık mandaları ise 21-24 aylık yaşlarda cinsi olgunluğa eriştiklerini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, cinsi olgunluk yaşı, genetik, iklim şartları, bakım ve besleme şartları cinsi olgunluk yaşını etkiler. Ticari sığır üretiminde kullanılarak yapılan östrus ve senkronizasyon uygulamaları mandalarda da yapıldığında doğal koşullara göre gebelik oranı %30 ila 50 oranında artırılabilir. Ticari mandaların ilk malaklama yaşının geç olması, kızgınlık belirtilerinin az ve düzensiz görülmesi (Şekerden ve ark., 2005), kızgınlık ve uzun malaklama aralıkları ve uzun süren kuru dönem süresi nedeniyle süt verimini etkileyen önemli sayıda faktör bulunmaktadır (Borghese, 2005).

Mandalarda önemli problemlerden birisi de sağım sistemine alışmalarının zor olması, dolayısıyla sağımla ilgili otomasyona uyumlu olmamalarıdır (Sannino ve ark., 2018). Bunun yanında, pratikte yetiştiriciler ilk doğumda makinalı sağıma alıştırıldığında, sağımın makine ile sürdürülebildiğini belirtmektedirler. Mandaların sağım sistemlerine uyumdaki zorlukları ve sütü daha geç indirmeleri, meme anatomisi, süt salma mekanizması, meme dokularının iç yerleşimi ve uzun ve ince meme başı yapısından kaynaklanmaktadır (Thomas ve ark., 2004; Allegrini ve ark., 2007). Bununla birlikte, makine ile sağımlarda süt verimi miktarının arttığı, pik süt veriminde daha uzun süre kaldığı, sütlerinin daha yüksek protein ve kazein içerikleri ve daha düşük bakteri ve somatik hücre sayısına sahip oldukları bildirilmiştir (Sannino ve ark., 2018).

Mandaların besin madde içeriklerine ilişkin NRC veya diğer kuruluşlar tarafından yayınlanmış bir veri tablosu bulunmamaktadır. Manda ve malaklarının beslenmesi ile ilgili olarak tavsiye edilen değerlere <https://agritech.tnau.ac.in/> (TNAU, 2020) sitesinde rastlanılmıştır. Çeşitli yayınlarda mandaların kuru madde (KM) ihtiyaçlarının sığırlar için verilen değerlerden (canlı ağırlığın %2,57'sine karşılık %3,09) daha düşük olduğu belirtilmektedir (Sarwar ve ark., 2009; Paul ve ark., 2003). Aynı zamanda mandaların yem proteini ve enerjisinden yararlanma etkinliği sığırlardan daha yüksektir ve dolayısıyla her kg %4 yağlı süt ve her kg canlı ağırlık artışı için sığırlara göre daha düşük protein ve enerji tüketmektedirler (Paul ve ark., 2003). Jabbar ve ark. (2013) Nili Ravi mandaları ile yaptıkları çalışmada, mandaları sığırlar için NRC (2001)'de önerilen ME değerlerinin %100, %80 ve %120'si kadar enerji sağlanan yerlerle beslemişlerdir. Araştırmacılar, çalışma sonuçlarına göre sığırlar için önerilen ME değerlerinin mandalar için de kullanılabilirliğini bildirmişlerdir.

Malaklar için 0-15, 15-30, 30-60 ve 60-90 günlük yaşlar için önerilen sindirilebilir ham protein gereksinimi 80, 90, 120 ve 150 g/gün; metabolik enerji (ME, Mcal) ihtiyaçları, 1,5, 1,7, 2,4 ve 3,6; kalsiyum (Ca) ihtiyaçları 2,5, 3,0, 3,5 ve 4,0 g/gün ve fosfor (P) gereksinimleri 1,5, 2,0, 2,5 ve 3,0 g/gün olarak verilmiştir. Yetişkin 450, 500 ve 600 kg canlı ağırlıkta bulunan mandalar için günlük önerilen ham protein (HP), metabolik enerji (ME, Mcal), kalsiyum ve fosfor ihtiyaçları sırasıyla; 341, 364,406 g HP, 13, 14,2 16,3 Mcal ME, 18, 20, 24 g Ca ve 13,14 ve 17 g P'dur. Ayrıca sağılan mandalarda bu besin maddelerine ilaveten her kg %4 yağlı düzeltilmiş süt verimi için 90 g HP, 1,24 ME (Mcal), 2,73 Ca ve 1,68 P ilave edilmelidir (TNAU, 2020).

7. Sütçü Manda Malaklarının Bakım ve Beslenme Yönetimi

Büyükbaş hayvan üretiminde sağlıklı yavruların doğumu, üreme ve süt üretimi verimliliğinin bir işareti olarak kabul edilir. Nehir mandaları yaklaşık 310 günlük gebelik döneminden sonra bir malak (veya nadiren ikiz) doğurur. Fizyolojik etkiler nedeniyle doğum süreci stresli olarak kabul edilir ve anormal doğumlarda ek stresler ortaya çıkabilir. Stresin şiddeti birçok faktöre bağlıdır ve hayvanın refahını ve süt verimini olumsuz etkileyebilir (Purohit ve ark., 2012). Entansif yetiştirme sistemlerinde malaklar annelerinden doğumdan 24-48 saat sonra ayrılırlar. Bu erken ayrılış hem annelerde hem de malaklarda strese neden olur (Mota-Rojas ve ark., 2019).

Manda işletmelerinde sürünün yenilenmesi ve yüksek canlı ağırlık kazancı için etkili bir malak yemleme sisteminin yapılması gereklidir. Bununla birlikte manda üreticiliğinde analarının e-ISSN: 2148-2683

beslenmesi ihmal edildiği gibi malakların da yetersiz kolostrum tüketimi ve sonraki dönemde beslenmesi ihmal edilebilmekte ve bunun sonucu olarak yüksek malak ölümleri meydana gelmektedir (Wynn ve ark., 2009). Manda yetiştiriciliği yapılan birçok bölgede süt fiyatlarının pahalı olması, malaklara verilen süt miktarının kısıtlanmasına neden olmakta ve üreticiler erken süttten kesmektedirler.

İtalyan mandalarının beslenmesinde süt yanında bir miktarda konsantre yem verilmekte ve bu sayede malak ölüm oranları Asya ülkelerine göre daha düşük olmaktadır (Purohit ve ark., 2012; Mota-Rojas ve ark., 2019). Malakların doğumda annelerinden ayrılması, doğumlarından birkaç saat sonra kaliteli kolostrum ile beslenmesi ve ardından biberon kullanılarak uygun miktarlarda süt verilmesi durumunda manda malaklarındaki ölüm oranlarının azaltılabileceğini saptanmıştır (Ranjhan, 2007). Yetersiz besleme, manda düvelerinde yüksek ölüm ve ergenlik çağında gecikme ile sonuçlanmakta, dengeli besleme ve iyi yönetim uygulamaları ise hastalık görülme oranını azaltmasına ve ilk malaklama yaşının kısaltılmasına neden olmaktadır. Genç malaklarda yüksek ölüm oranları ve erkek manda malaklarının işletmeden atılması, kaliteli genetik materyalin kaybına neden olur (Bharti ve ark., 2015). Malaklara verilecek süt miktarı ve malakların süttten kesilme süresi ve etkileri en önemli konular arasındadır. Malakların doğum sonrası ilk yarım saat sonrasında başlayarak 8 saat içinde yeterli kolostrum alması aktif bağışıklığın sağlanması için şarttır. Modern süt sığırcılığı işletmelerde yavru anasıyla kısa bir süre birlikte kalabilir ve kolostrumu aldıktan sonra 3-4 gün içerisinde farklı bir bölme alınır ve burada analardan sağılan sütler yavrularına biberon yardımıyla verilir. Malakların ana ile tutulduğu durumlarda veya malağın sağım saatlerinde farklı bölmelerden ananın yanına getirilmesi ve içilen süttün miktarının kontrol edilememesi bir kısım yönetim zorluklarına neden olmaktadır.

Mandaların sığırlardan farklı olarak, annenin sütü indirmesi için malak tarafından uyarılmasına gereksinim bulunmaktadır (Kumar ve ark., 2017). Özellikle bazı manda ırklarda mandaların malakla birlikte olmadığında süt salma işlemi başlamamaktadır. Nitekim İtalya'da ölen yavruların derileri yüzülerek bir başka malağın üzerine konularak kokusu vasıtasıyla süt salımını indirmek için kullanılmaları malak-ana interaksyonunu ortaya koymaktadır (Mota-Rojas ve ark., 2019).

Manda malaklarının beslenmesinde yaygın olarak analarından doğrudan emzirme yöntemleri kullanılmaktadır, çiftçiler süttten kesim süresi ve içecekleri süt miktarını, süttün fiyatına göre değiştirebilmektedirler. Normal şartlarda malakların süttten kesim süresi 8-12 hafta ve içecekleri süt miktarı canlı ağırlığın %10'u civarındadır. Manda süttünün içme sütü olarak kullanıldığı ve inek süttünün 2 katı fiyatla satılan yerlerde ve İtalya gibi manda süttünden mozzarella peyniri yapılan ve inek süttünün 3-4 katı fiyatla satıldığı yerlerde daha erken süttten kesme eğilimi meydana geldiği belirlenmiştir (Zicarelli, 2020). Manda malaklarında verilecek süt miktarı ve süresi ile ilgili yapılan bir çalışmada, (Abbas ve ark., 2017) CA'nın %10 (düşük) ve %15'i (yüksek) kadar ve kısa ve uzun süreli (56 ve 84. günde) süttten kesim süresi uygulanan malaklarda bol süt verilen ve uzun süre sütle beslenen malakların büyüme performanslarının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Rashid ve ark. (2013) manda malaklarının büyüme performanslarından kayıp olmaksızın 56 günde başarıyla süttten kesilebileceğini bildirmiştir.

Manda malaklarının emzirilmesi bazı avantajlı ve dezavantajlı durumlar ortaya çıkarmaktadır. Avantajlı durum olarak, anasını emen malaklarda kanda yüksek immunoglobulin seviyesinin oluştuğu (Abbas ve ark., 2017; Khan et al., 2007),

daha az ishal vakaları görüldüğü (Aref ve ark., 2016), daha yüksek canlı ağırlık kazanıldığı ve vücut ölçülerinin arttığı, analarda süt salınım süresinin kısaldığı, süt akış hızının ve süt veriminin arttığı bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2017). Malakların analarını emmeye devam etmesi durumunda anaların doğum sonra kızgınlık göstermeleri ve ilk tohumlama gecikmektedir, erken anneden ayrılanlarda kızgınlık gösterme süresi azalmaktadır ve tohumlama başına gebelik oranı artması gibi (Bharti ve ark., 2015) dezavantajları vardır. Eğer malaklar doğum sonrasında analarından hemen ayrılırlarsa sağında anaların gerginliği daha yüksek olmakta (de la Cruz-Cruz ve ark., 2019), malaklar daha fazla sağlık problemi yaşamakta, büyüme hormonu ve kan glikoz seviyesinin düştüğü (Aref ve ark., 2016), ahır ekipmanlarını ve birbirlerini yalama eğiliminin arttığı ve böğürme sayılarının azaldığı tespit edilmiştir (Bharti ve ark., 2015).

Malakların geleneksel sistemlerle emzirilmek suretiyle beslemeleri durumunda harcanan süt maliyeti, malağın süttten kesimdeki satış maliyetinden daha yüksek olabilmektedir. Bu nedenle bazı çiftlikler, yeni doğan malakları beslemek yerine, sütü satmayı tercih etmektedir ve erkek malakları sadece annesinin sütü indirmesi için elde tuttıkları ve eğer annenin yavrusuz süt verme durumu varsa onları boğa yapmak yerine çiftlikten atmayı tercih ettikleri bildirilmiştir (Bhatti ve ark., 2009). Süt ikame yemleri ile beslemenin maliyeti azalttığını, ancak sütle beslenenlere göre daha düşük CA elde edildiğini belirlemişlerdir (Bhatti ve ark., 2012). Rafiuddin ve ark. (2009) grup büyüklüğünün manda malaklarının büyüme performansı ve sağlık parametrelerine olan etkilerini inceledikleri çalışmada; bölmede 1, 4 veya 8 adet barındırılan malaklardan 8'li barındırılanların yem tüketimi, CA ve vücut ölçülerinin daha yüksek olduğunu, bununla birlikte 8'li grupta diğer gruplara göre daha fazla solunum yolu hastalıklarının görüldüğünü saptamışlardır.

8. Süt Mandacılığının Türkiye'deki Geleceği

Türkiye'de manda yetiştiriciliği uzun yıllardan beridir geleneksel yöntemlerle yapılmakla birlikte 2012 yılında Türkiye Damızlık Manda Yetiştiricileri Merkez Birliği (TDMÜB) ve 28 ilde de şubeleri kurulduktan sonra bireysel çabalar bir çatı altında toplanıp daha bilimsel yollarla yapılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda son yıllarda devlet teşvikleriyle de maddi olarak desteklenmekte ve çiftçilere ek gelir sağlanmaktadır. İtalya'da 1979 yılında kurulan Ulusal Manda Türü Yetiştiricileri Derneği ile kıyaslandığında, iyileştirme çalışmalarında oldukça yeni olduğumuz görülmektedir. Ancak bu ülkelerin birikimlerinden yararlanılmak suretiyle de kısa sürede bazı iyileştirmelerin yapılabileceği bir de fırsat bulunmaktadır. Türkiye'de manda üretimi ülkenin doğusundan batısına kadar pek çok ilinde yapılmaktadır. Aynı zamanda diğer hayvan türlerine göre manda üretimi konusunda yapılan bilimsel çalışma sayısı da sınırlıdır.

Manda üretimi bilhassa Asya ülkelerinde yaygındır ve buralarda geleneksel yöntemlerle ve daha çok ekstansif olarak yapılmaktadır (Pasha, 2013; Sarwar ve ark., 2009). Ülkemizde de mandalar geleneksel olarak küçük sürüler halinde ve modern olmayan bakım şartlarında ve mevsimin uygun olduğu dönemlerde daha çok meradan yararlanmaya yönelik yapılmakta, barınak olarak kışın kapalı alanlar kullanılmaktadır. Türkiye'de bulunan Anadolu mandaları, grubunda yer aldığı nehir manda gruplarından gerek Hindistan, Pakistan gibi Asya ülkelerinde yetiştirilen Mehsana, Nili-Ravi, Murrah gibi ırklar ve gerekse

İtalya gibi Avrupa ülkelerinde üretilen Akdeniz mandalarında daha düşük canlı ağırlık ve süt verimine sahiptirler. Bilhassa İtalya gerek coğrafi konum yakınlığı ve bilgi alış-verişi için uygun olabileceği için Türkiye'deki çalışmaların bu bilgi kaynağını takibinde fayda vardır. Örneğin, İtalya'da 400.000 adet civarında manda entansif sistemde yetiştirilmekte ve dişiler padoklarda tutulmakta ve günde iki kez mekanik olarak sağılmaktadırlar. Manda erkekleri ise yoğun besiyeye alınmaktadırlar veya ızgaralı zemin ahırlarında beslenmektedirler ve 15 aylık yaşta kesilerek 400 kg'dan fazla canlı ağırlık elde edilmektedir (Borghese, 2013).

Asya ülkelerinde yetiştirilen mandalardan elde edilen gelir İtalya'ya göre oldukça düşük düzeydedir. İtalya bu başarısını, ülkedeki çok sayıda hayvanın verim, seleksiyon, genetik ve üreme performansı, sağlık, yemleme ve yetiştiricilik kayıtlarını iyi bir şekilde tutmasına borçludur. Hayvanların bu parametreler yanında süttteki yağ ve protein içeriği kayıtları da tutularak değerlendirilmekte yapılmaktadır. Bu sayede 270 günlük laktasyon süresinde 5000 kg süt veren çok sayıda manda bulunmakta, hatta laktasyonda %8,32 yağ ve %4,63 proteinli 5600 kg süt üreten rekor hayvanlar elde edilmiştir (Borghese, 2013).

Sonuç olarak, ıslah çalışmaları uzun yıllar alan çalışmalardır. İtalya'daki yakalanan başarıya benzer bir başarının elde edilebilmesi için öncelikle ülkemizdeki mandaların iyi bakım ve yönetim şartları altında verim ve üreme kayıtları başta olmak üzere elde edilebilecek tüm kayıtların tutulmasına gereksinim vardır. Elde edilen kayıtların değerlendirilerek ıslah yöntemlerinin kesintisiz olarak sürdürülmesi ve gen kaynaklarının kaybedilmemesi gereklidir.

Diğer yandan, son 20-30 yıllık dönemde süt sığırcılığında yerli ırkların ıslahında hem kültür melezi boğa ve hem de spermaları kullanılmak suretiyle, birim hayvandan elde edilen verim önemli miktarda artırılmıştır. Sığırlarda verim artışında elde edilen başarıya benzer şekilde mandalarda da başta süt verimi olmak üzere ıslah çalışmaları sonucunda elde edilen gen kaynaklarının (canlı hayvan veya sperma) kullanımı gereklidir.

Kaynakça

- Abbas, W., Bhatti, S. A., Khan, M. S., Saeed, N., Warriach, H. M., Wynn, P., & McGill, D. (2017). Effect of weaning age and milk feeding volume on growth performance of Nili-Ravi buffalo calves. *Italian Journal of Animal Science*, 16 (3). <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1291282>
- Ahmad, S., Gaucher, I., Rousseau, F., Beaucher, E., Piot, M., Grongnet, J. F., & Gaucheron, F. (2008). Effects of acidification on physico-chemical characteristics of buffalo milk: A comparison with cow's milk. *Food Chemistry*, 106(1). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.021>
- Aksoy, A., Haşimoğlu, S., & Çakır, A. (1981). *Besin Maddeleri ve Hayvan Besleme*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Basımevi.
- Alkoyak, K., & Öz, S. (2020). The Effect of Some Environmental Factors on Lactation Length, Milk Yield and Calving Intervals of Anatolian Buffaloes in Bartın Province of Turkey. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 60(2), 54–61. <https://doi.org/10.46897/livestockstudies.846415>
- Allegrini, S., Mazzi, M., Roncoroni, C., Alfieri, L., Campagna, M. C., & Borghese, A. (2007). Morphometric and haematological parameters in Italian Mediterranean Buffaloes finished with different diets. *Italian Journal of Animal Science*, 6(Suppl. 2). <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.512>
- Ambardekar, D. V. (2000). *Studies on body measurement and*

- qualitative traits in Pandharpuri buffaloes. M. Sc. (Agri.) Thesis, Mahatma Phule Agricultural University, Rahuri, M.S., India.
- Andersen, J. B., Sehested, J., & Ingvarsen, K. L. (1999). Effect of dry cow feeding strategy on rumen pH, Concentration of volatile fatty acids and rumen epithelium development. *Acta Agriculturae Scandinavica A: Animal Sciences*, 49(3). <https://doi.org/10.1080/090647099424051>
- Aref, N. E. M., El-Sebaie, A., & Hammad, H. Z. (2016). New insights on ill-thriftiness in early-weaned buffalo calves. *Veterinary World*, 9(6). <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.579-586>
- Aspilcueta-Borquis, R. R., Araujo Neto, F. R., Baldi, F., Santos, D. J. A., Albuquerque, L. G., & Tonhati, H. (2012). Genetic parameters for test-day yield of milk, fat and protein in buffaloes estimated by random regression models. *Journal of Dairy Research*, 79(3). <https://doi.org/10.1017/S0022029912000143>
- Barbosa, S. B. P., Modesto, E. C., Lopes, F. de A., da Silva, E. C., & Abad, A. C. A. (2020). Relationship between milk production system and milk traits and somatic cell counts in brazilian murrah buffaloes: A multivariate analysis. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 42(1). <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.46522>
- Bharadwaj, A., Dixit, V. B., Sethi, R. K., & Khanna, S. (2007). Association of breed characteristics with milk production in Murrah buffaloes. *Indian Journal of Animal Sciences*, 77(10).
- Bharti, P. K., Dutt, T., Pandey, H. O., Patel, B. H. M., Mahendran, K., Kaswan, S., Upadhyay, V. K. (2015). Effect of weaning age on health of Murrah buffalo calves. *Indian Journal of Animal Sciences*, 85(12).
- Bhatti, J. A., Younas, M., Abdullah, M., Babar, M. E., & Nawaz, H. (2009). Feed intake, weight gain and haematology in nili-ravi buffalo heifers fed on mott grass and berseem fodder substituted with saltbush (*atriplex amnicola*). *Pakistan Veterinary Journal*, 29(3).
- Bhatti, S. A., Ahmed, M. F., Wynn, P. C., McGill, D., Sarwar, M., Afzal, M., ... Khan, A. (2012). Effect of diet on preweaning performance of Sahiwal calves. *Tropical Animal Health and Production*, 44(4). <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9973-3>
- Bilal, M. Q., Suleman, M., & Raziq, A. (2006). Buffalo: Black gold of Pakistan. *Livestock Research for Rural Development*, 18(9), 140-151.
- Borghese, A. (2005). Buffalo Production and Research. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Vol. 5). <https://doi.org/10.4081/ijas.2006.203>
- Borghese, A. (2013). Buffalo livestock and products in Europe. *Buffalo Bulletin*, 32(Spec. Issue 1).
- Boselli, C., Mazzi, M. M., Borghese, A., Terzano, G. M., Giangolini, G., Filippetti, F., Rosati, R. (2010). Milk flow curve and teat anatomy in mediterranean Italian buffalo cows. *Revista Veterinaria*, 21(Suppl.1).
- Ceniti, C., Britti, D., Trimboli, F., Morittu, V. M., Lopreiato, V., & Costanzo, N. (2019). Evaluation of freezing point in milk from buffalos reared in Calabria, Italy. *Italian Journal of Food Safety*, 8(2). <https://doi.org/10.4081/ijfs.2019.7895>
- Chantalakhana, C., & Bunyavejchewin, P. (1994). Buffaloes and draught power. *Outlook on Agriculture*, 23(2). <https://doi.org/10.1177/003072709402300204>
- Charlini, B. C., & Sinniah, J. (2015). Performance of Murrah, Surti, Nili-Ravi buffaloes and their crosses in the intermediate zone of Sri Lanka. *Livestock Research for Rural Development*, 27(3).
- Coroian, A., Erler, S., Matea, C. T., Miresan, V., Răducu, C., Bele, C., & Coroian, C. O. (2013). Seasonal changes of buffalo colostrum: Physicochemical parameters, fatty acids and cholesterol variation. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-40>
- Costa, A., De Marchi, M., Battisti, S., Guarducci, M., Amatiste, S., Bitonti, G., ... Boselli, C. (2020). On the Effect of the Temperature-Humidity Index on Buffalo Bulk Milk Composition and Coagulation Traits. *Frontiers in Veterinary Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.577758>
- de la Cruz-Cruz, L. A., Bonilla-Jaime, H., Orozco-Gregorio, H., Tarazona-Morales, A. M., Ballesteros-Rodea, G., Roldan-Santiago, P., Vargas-Romero, J. M. (2019). Effects of weaning on the stress responses and productivity of water buffalo in different breeding systems: A review. *Livestock Science*, 226 (2019): 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.05.020>
- Degirmencioglu, T., Unal, H., & Kuraloglu, H. (2015). Comparison of extensive or semi-intensive feeding for Anatolian water buffalo. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(9), 712-715. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015.04.07>
- Drost, M. (2007). Bubaline versus bovine reproduction. *Theriogenology*, 68(3). <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.012>
- Ekiz, B., Yilmaz, A., Yalcintan, H., Yakan, A., Yilmaz, I., & Soysal, I. (2018). Carcass and Meat Quality of Male and Female Water Buffaloes Finished under an Intensive Production System. *Annals of Animal Science*, 18(2). <https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0036>
- El-Barody, M. A. A., Daghsh, H. A., & Rabie, Z. B. H. (2001). Some physiological responses of pregnant Egyptian buffalo to niacin supplementation. *Livestock Production Science*, 69(3). [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00169-5)
- FAOStat. (2019). Food and Agricultural Organization. Animal Production Data. Erişim: 02.03.2021.
- Galsar, N. S., Shah, R. R., Gupta, J. P., Pandey, D. P., & Patel, K. B. (2016). Analysis of first production and reproduction traits of Mehsana buffaloes maintained at tropical and semi-arid region of Gujarat, India. *Life Sciences Leaflets*, 4297(77), 65-75.
- Ghaffar, A., Ansari, M. H., Jokhio, M. H., & Bhutto, N. M. (2007). Genetic analysis of a purebred herd of Kundhi buffaloes in Pakistan. *Italian Journal of Animal Science*, 6(Suppl. 2). <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.271>
- Gwazdauskas, F. C., Wilcox, C. J., & Thatcher, W. W. (1975). Environmental and Managemental Factors Affecting Conception Rate in a Subtropical Climate. *Journal of Dairy Science*, 58(1). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(75\)84523-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84523-1)
- Hamid, M. A., Ahmed, S., Rahman, M. A., & Hossain, K. M. (2016). Status of buffalo production in Bangladesh compared to SAARC countries. *Asian Journal of Animal Sciences*, 10(6), 313-329. <https://doi.org/10.3923/ajas.2016.313.329>
- Hamid, M., Siddiky, M., Rahman, M., & Hossain, K. (2017). Scopes and opportunities of buffalo farming in Bangladesh: A review. *SAARC Journal of Agriculture*, 14(2). <https://doi.org/10.3329/sja.v14i2.31246>
- Helal, F. I. S., & Abdel- Rahman, K. A. (2010). Productive performance of lactating ewes fed diets supplementing with dry yeast and/or bentonite as feed additives. *World Journal of Agricultural Sciences*.

- Hofi, M. (2013). Buffalo milk cheese. *Buffalo Bulletin*, 32(Special Issue 1), 355-360.
- Iannuzzi, L. (2013). Evolutionary, clinical and molecular cytogenetics in water buffalo: An update. *Buffalo Bulletin*, 32(SPEC. ISSUE 1), 244–256.
- Jabbar, M., Fiaz, M., Abdullah, M., Sciences, A., Marghazani, I. B., & Sciences, M. (2013). Effect of Different Dietary Energy Levels on Milk Production in Lactating Nili -Ravi Buffaloes. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(1 Supplement), 13–16.
- Javed, K., Abdullah, M., Khalid, M. S., Ahmad, N., Bhatti, J. A., & Younas, U. (2013). Inter-relationship of milk constituents with body and udder measurements in Nili-Ravi buffaloes raised at commercial farms of Pakistan. In *Buffalo Bulletin* (Vol. 32).
- Kapadiya, D. B., Prajapati, D. B., Jain, A. K., Mehta, B. M., Darji, V. B., & Aparnathi, K. D. (2016). Comparison of Surti goat milk with cow and buffalo milk for gross composition, nitrogen distribution, and selected minerals content. *Veterinary World*, 9(7). <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.710-716>
- Khan, M. S., Ahmad, N., & Khan, M. A. L. I. (2007). Genetic resource and diversity in dairy buffaloes in Pakistan. *Pakistan Veterinary Journal*, 27(4).
- Koçak, S., Tekerli, M., Çelikeloğlu, K., Erdoğan, M., Bozkurt, Z., & Hacan. (2019). An investigation on yield and composition of milk, calving interval and repeatabilities in riverine buffaloes of anatolia. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 29(3).
- Kumar, A., Kamboj, M. L., Kumar, S., Jingar, S. C., Lawania, P., & Bugaliya, H. L. (2017). Performance of Murrah Buffalo and their Calves under Weaning and Suckling System. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7). <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.348>
- Kumar Singh, P., Chandra Scholar, S., Kumar Singh, R., Pankaj Kumar Singh, C., Kamboj, M., & Chandra, S. (2017). Effect of calf suckling dummy calf used and weaning on milk ejection stimuli and milk yield of Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*). 1012 *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6S).
- Marai, I. F. M., Daader, A. H., Soliman, A. M., & El-Menshawy, S. M. S. (2009). Non-genetic factors affecting growth and reproduction traits of buffaloes under dry management housing (in sub-tropical environment) in Egypt. *Livestock Research for Rural Development*, 21(3).
- Medhammar, E., Wijesinha-Bettoni, R., Stadlmayr, B., Nilsson, E., Charrondiere, U. R., & Burlingame, B. (2012). Composition of milk from minor dairy animals and buffalo breeds: A biodiversity perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4690>
- Misra, S. S., Sharma, A., Bhattacharya, T. K., Kumar, P., & Roy, S. S. (2008). Association of breed and polymorphism of α - and α -casein genes with milk quality and daily milk and constituent yield traits of buffaloes (*bubalus bubalis*). *Buffalo Bulletin*, 27(4).
- Mohran, M. A. (1991). Effect of Stage of Lactation on the Physical and. *Egyptian . J. Dairy Sci*, 77–82.
- Moioli, B., & Borghese, A. (2005). Buffalo Breeds and Management Systems. *Buffalo Production and Research*.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., & Napolitano, F. (2019). Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 14. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Nanda, A. S., & Nakao, T. (2003). Role of buffalo in the socioeconomic development of rural Asia: Current status and future prospectus. *Animal Science Journal*. <https://doi.org/10.1046/j.1344-3941.2003.00138.x>
- Naveena, B. M., & Kiran, M. (2014). Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security. *Animal Frontiers*, 4(4), 18–24. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0029>
- Nawaz, H., Yaqoob, M., & Abdullah, M. (2007). Effect of feeding supplemental tallow on the performance of lactating Nili-Ravi buffaloes. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 31(6).
- Nayyar, S., Gill, V. K., Singh, N., Roy, K. S., & Singh, R. (2002). Levels of antioxidant vitamins in anoestrus buffalo heifers supplemented with vitamin E and selenium. *Indian Journal of Animal Sciences*, 72(5).
- Panda, N., Kaur, H., & Mohanty, T. K. (2006). Reproductive performance of dairy buffaloes supplemented with varying levels of vitamin E. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19(1). <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.19>
- Pasha, T. N. (2013). Prospect of nutrition and feeding for sustainable buffalo production. *Buffalo Bulletin*, 32(Spec. Issue 1).
- Patil, A., Disouza, J., & Pawar, S. (2019). Evaluation of lactobacillus plantarum growth in milk of indian buffalo breeds based on its physico-chemical content. *Buffalo Bulletin*, 38(2).
- Patiño, E. ., & Guazirola, E. (2005). Composición de leche de búfala (*Bubalus bubalis*) de raza Jafarabadi en Corrientes, Argentina (*Buffalo* (*Bubalus bubalis*) milk composition of Jafarabadi in Corrientes, Argentina). *Revista Electronica de Veterinaria Redvet*, 6(5).
- Paul, S. S., Mandal, A. B., Kannan, A., Mandal, G. P., & Pathak, N. N. (2003). Comparative dry matter intake and nutrient utilisation efficiency in lactating cattle and buffaloes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(4). <https://doi.org/10.1002/jsfa.1305>
- Phogat, J., Pandey, A. K., & Singh, I. (2016). Seasonality in buffaloes reproduction. *International Journal of Plant, Animal Environmental Sciences*, 6(2).
- Purohit, G. N., Kumar, P., Solanki, K., Shekher, C., & Yadav, S. P. (2012). Perspectives of fetal dystocia in cattle and buffalo. *Veterinary Science Development*, 2(1). <https://doi.org/10.4081/vsd.2012.e8>
- Qureshi, M. S., Habib, G., Samad, H. A., Siddiqui, M. M., Ahmad, N., & Syed, M. (2002). Reproduction-nutrition relationship in dairy buffaloes. I. Effect of intake of protein, energy and blood metabolites levels. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15(3). <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.330>
- Rafiuddin, N. A., Moaen-ud-Din, M., Babar, M. E., Abdullah, M., Jabbar, M. A., Khan, F. S., ... Bhatti, J. A. (2009). Effect of Group Size on Growth Performance of Nili Ravi Buffalo Calves during Winter Months. *Pakistan J. Zool. Suppl. Ser.*, 9(9), 613–618.
- Ranjhan, S. K. (2007). Buffalo as a social animal for humanity. *Italian Journal of Animal Science*, 6(SUPPL. 2). <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.30>
- Rashid, M. A., Pasha, T. N., Jabbar, M. A., Ijaz, A., Rehman, H., & Yousaf, M. S. (2013). Influence of weaning regimen on intake, growth characteristics and plasma blood metabolites

- in male buffalo calves. *Animal*, 7(9). <https://doi.org/10.1017/S1751731113000943>
- Rathod, A., Vaidya, M., & Ali, S. (2018). Genetic Studies of Productive and Reproductive Attributes of Surti Buffalo in Maharashtra. *International Journal of Livestock Research*, 8(5). <https://doi.org/10.5455/ijlr.20171016061752>
- Raval, A., Sorathiya, L., Katariya, M., Kharadi, V., Patel, V., Patel, N., & Parmar, A. (2019). Effect of Challenge Feeding on Production Performance of Surti Buffaloes. *International Journal of Livestock Research*, (0). <https://doi.org/10.5455/ijlr.20190508112036>
- Rosati, A., & Van Vleck, L. D. (2002). Estimation of genetic parameters for milk, fat, protein and mozzarella cheese production for the Italian river buffalo *Bubalus bubalis* population. *Livestock Production Science*, 74(2). [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00293-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00293-7)
- Sabia, E., Napolitano, F., Claps, S., Braghieri, A., Piazzolla, N., & Pacelli, C. (2015). Feeding, nutrition and sustainability in dairy enterprises: The case of Mediterranean Buffaloes (*Bubalus Bubalis*). In *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16357-4_5
- Sahin, A., Yıldırım, A., & Ulutas, Z. (2016). Changes in some physico-chemical content of Anatolian buffalo milk according to the some environmental factors. *Buffalo Bulletin*, 35(4).
- Salari, F., Altomonte, I., & Martini, M. (2013). Buffalo milk: A case study of some parameters related to milk production. *Large Animal Review*, 19(1).
- Sannino, M., Faugno, S., Crimaldi, M., Di Francia, A., Ardito, L., Serrapica, F., & Masucci, F. (2018). Effects of an automatic milking system on milk yield and quality of Mediterranean buffaloes. *Journal of Dairy Science*, 101(9). <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14157>
- Sarwar, G., & McDonough, F. E. (1990). Evaluation of protein digestibility-corrected amino acid score method for assessing protein quality of foods. *J Assoc Off Anal Chem*, 73(3), 347–356.
- Sarwar, M., Khan, M. A., Nisa, M., Bhatti, S. A., & Shahzad, M. A. (2009). Nutritional management for buffalo production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(7). <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.r.09>
- Şekerden, Ö., Borghese, A., Köroğlu, M., Uras, H., & Güzey, Y. Z. (2005). Anadolu Mandalarında Sun'ı Tohumlama Çalışmaları ve PRID (Progesterone Releasing Intravaginal Device) Uygulamanın Döl Tutma Oranı Üzerine Etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(2), 1. https://doi.org/10.1501/tarimbil_0000000420
- Şekerden, Ö., & Küçükkepççi, M. (1999). Afyon Kocatepe Tarımsal AraştırmaEnstitüsü Anadolu Mandalarında Süt Verim Bileşiminin Laktasyon Dönemlerine Göre Değişimi, Süt ve Bazı Döl Verim Özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(2), 151–159. <https://doi.org/10.17097/zfd.73087>
- Siddiky, M., & Faruque, M. (2018). Buffaloes for dairying in South Asia: potential, challenges and way forward. *SAARC Journal of Agriculture*, 15(2). <https://doi.org/10.3329/sja.v15i2.35167>
- Soysal, M. I. (2013). Anatolian water buffaloes husbandry in Turkey. *Buffalo Bulletin*, 32(SPEC. ISSUE 1).
- Soysal, M. İ., Genç, S., Aksel, M., Ünal, E. Ö., & Gürcan, E. K. (2018). Effect of Environmental Factors on Lactation Milk Yield , Lactation Length and Calving Interval of Anatolian Buffalo in Istanbul İstanbul ' da Yetiştirilen Anadolu Mandalarının Laktasyon Süt Verimi , Laktasyon Uzunluğu ve Buzağılama Aralığı Üzerine Çevres. *Journal of Animal Science and Products*, 1(1), 93–97.
- Terramoccia, S., Bartocci, S., Amici, A., & Martillotti, F. (2000). Protein and protein-free dry matter rumen degradability in buffalo, cattle and sheep fed diets with different forage to concentrate ratios. *Livestock Production Science*, 65(1–2). [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00155-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00155-4)
- Thomas, C. S., Svennersten-Sjaunja, K., Bhosrekar, M. R., & Bruckmaier, R. M. (2004). Mammary cisternal size, cisternal milk and milk ejection in Murrah buffaloes. *Journal of Dairy Research*, 71(2). <https://doi.org/10.1017/S0022029904000081>
- TNAU. (2020). Livestock, Buffalo, Feeding. https://agritech.tnau.ac.in/animal_husbandry/animhus_buffalo%20feeding.html Erişim:02.06.2021
- TÜİK. (2020). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Hayvansal Üretim İstatistikleri. Ankara.
- Uğurlu, M., Kaya, I., & Saray, M. (2016). Effects of some environmental factors on calf birth weight and milk yield of Anatolian Water Buffalo (*Bubalus bubalis*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 22(6).
- Wang, J., He, Y., Pang, K., Zeng, Q., Zhang, X., Ren, F., & Guo, H. (2019). Changes in milk yield and composition of colostrum and regular milk from four buffalo breeds in China during lactation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13). <https://doi.org/10.1002/jsfa.9849>
- Warriach, H. M., McGill, D. M., Bush, R. D., Wynn, P. C., & Chohan, K. R. (2015). A review of recent developments in buffalo reproduction - A review. In *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* (Vol. 28). <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0259>
- Wynn, P. C., Warriach, H. M., Morgan, A., McGill, D. M., Hanif, S., Sarwar, M., Bush, R. D. (2009). Perinatal nutrition of the calf and its consequences for lifelong productivity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(5). <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.r.06>
- Yavasoglu, N. U. K., Koksall, C., Yaman, Y., & Un, C. (2014). Karyotype of Anatolian water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Buffalo Bulletin*, 33(4), 337–342.
- Yılmaz, A., Ocak, E., & Kose, S. (2017). A research on milk yield, milk composition and body weights of Anatolian buffaloes. *Indian Journal of Animal Research*, 51(3). <https://doi.org/10.18805/ijar.11474>
- Zhou, L., Tang, Q., Wasim Iqbal, M., Xia, Z., Huang, F., Li, L., Zou, C. (2018). A comparison of milk protein, fat, lactose, total solids and amino acid profiles of three different buffalo breeds in Guangxi, China. *Italian Journal of Animal Science*, 17(4). <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1443288>
- Zicarelli, L., Ariota, B., Gasparrini, B., Neglia, G., & Di Palo, R. (2007). Buffalo beef production. *Italian Journal of Animal Science*, 6(Suppl. 2). <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.1312>
- Zicarelli, Luigi. (2020). Considerations on the breeding and weaning of buffalo calf. *Journal of Buffalo Science*, 9. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.11>



Surface Roughness Evaluation in Milling of Strenx 1100 Steel under MQL Conditions

Mustafa Kuntoğlu^{1*},

^{1*} Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7291-9468), mkuntoglu@selcuk.edu.tr

(First received 22 April 2021 and in final form 5 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.925667)

ATIF/REFERENCE: Kuntoğlu, M. (2021). Surface Roughness Evaluation in Milling of Strenx 1100 Steel under MQL Conditions. *European Journal of Science and Technology*, (25), 509-516.

Abstract

Strenx 1100 is one of the most important structural steel characterized by utmost mechanical properties, generally preferred for load-bearing applications at many engineering fields such as marine and crane. Minimum quantity lubrication (MQL) is a method that presents sustainable machining with applying pulverized oil into the cutting zone, proved it by obtaining better machinability characteristics compared to conventional approaches. Surface roughness is a response parameter reflects the quality of a machined part in a certain degree which should be produced as per the industrial requirements. This paper focuses on the surface roughness (Ra) evaluation of Strenx 1100 steel during milling under MQL conditions. Taguchi design of experiments were utilized with combining three levels of cutting speed (v_c), feed rate (f) and depth of cut (a_p) in order to create L_9 orthogonal array. The findings are discussed using analysis of variance (ANOVA), signal-to-noise ratio (S/N) based optimization and 3d surface plots. According to the results, it is observed that the first level of cutting parameters namely $v_c=75$ m/min, $f=0.075$ mm/rev and $a_p=0.25$ mm need to be selected for optimization of response parameter while feed rate has more influence (66.9%) than depth of cut (22.5%) and cutting speed (0.4%) on surface roughness. Graphical representations exhibit the general trend of surface roughness which provides chance to selection of accurate cutting conditions for required response value.

Keywords: Strenx 1100 Steel, Surface Roughness, Milling, Minimum Quantity Lubrication.

Strenx 1100 Çeliğinin MMY Şartları Altında Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü Değerlendirmesi

Öz

Strenx 1100 üstün mekanik özellikler ile nitelendirilen, gemi ve vinç gibi birçok mühendislik alanında genellikle yük taşıma uygulamalarında tercih edilen en önemli yapı çeliklerinden bir tanesidir. Minimum Miktarda Yağlama (MMY) kesme bölgesine pulverize olmuş yağ uygulanması ile sürdürülebilir imalatı sağlayan, geleneksel yaklaşımlarla kıyaslandığında kendisini daha iyi işlenebilirlik karakteristikleri ile ispatlamış bir yöntemdir. Yüzey pürüzlülüğü, endüstriyel ihtiyaçlara göre üretilmesi gereken, işlenen parçanın kalitesini belirli ölçüde yansıtan bir cevap parametresidir. Bu makale MMY şartları altında Strenx 1100 malzemenin frezelenmesi süresince yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi üzerine odaklanmıştır. Kesme hızı (v_c), ilerleme (f) and talaş derinliğinin (a_p) üç seviyesi birleştirilerek L_9 ortogonal dizi oluşturulması için Taguchi deneysel tasarımından yararlanılmıştır. Bulgular, varyans analizi (ANOVA), sinyal-gürültü oranına (S/N) dayalı optimizasyon ve 3d yüzey grafikleri kullanılarak tartışılmıştır. Sonuçlara göre, ilerleme (66.9%), yüzey pürüzlülüğü üzerinde talaş derinliği (22.5%) ve kesme hızından (0.4%) daha etkili olurken, kesme parametrelerinin birinci seviyesinin, $v_c=75$ m/dak., $f=0.075$ mm/dev. ve $a_p=0.25$ mm, cevap parametresini optimize etmek için seçilmesi gerektiği görülmektedir. İstenen cevap değeri için doğru kesme koşullarının seçimini sağlayan grafiksel gösterimler yüzey pürüzlülüğünün genel eğilimlerini yansıtmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Strenx 1100 Çeliği, Yüzey Pürüzlülüğü, Frezeleme, Minimum Miktarda Yağlama.

* Corresponding Author: mkuntoglu@selcuk.edu.tr

1. Introduction

Structural steels are the mostly preferred materials which requires lighter and stronger featured constructions. Typically, good weldability is needed for the joining of these cut-to-length materials in order to obtain huge components for the applications particularly in transportation. This class of steels need welding grooves which further necessitates machining operations during the production process of the mentioned large parts. Strenx 1100 is a special type of structural steels having important mechanical properties such as yield strength and tensile strength. The steel seems as appropriate for the load-bearing applications such as lifting crane sector, loaders, excavators, manufacturing of heavy vehicles and marine engineering (Kurc-Lisiecka, Piwnik, & Lisiecki, 2017) (SSAB, 2021). Despite its prominent advantages in the usage area, the high strength originated from chemical composition make Strenx 1100 hard-to-cut material. Broadly, due to their sheet-shaped fabrication in industry, several operations can be performed on these materials by milling.

Today, wide range of hard materials need to be machined due to their high potential in industrial applications (Davim, 2011). Since their machining is difficult compared to conventional materials, many attempts have been made previously (Das, Pradhan, Patel, Das, & Biswal, 2019; Kene & Choudhury, 2019; Sun, Brandt, & Dargusch, 2010). Typically, poor surface roughness and reduced tool life are characterized features of low machinability of hard metals. Mostly, high cutting forces and temperatures are accepted as the main reason of this result (Hosseini, Beno, Klement, Kaminski, & Rytberg, 2014). Recently, in order to improve machinability characteristics, cooling/lubrication systems have been integrated into machine tools (Boswell, Islam, Davies, Ginting, & Ong, 2017) (Goindi & Sarkar, 2017). Despite the investment cost in addition to consistent lubricant or gas consumption, their effect on the minimization of cutting temperatures and cutting forces make the cutting process much easier. On the other hand, cutting fluids have several negative effects on environment and human health (Ming et al., 2021). In this perspective, MQL technique has been applied from many researchers in order to reach sustainable manufacturing conditions in the last years. This method provide enhanced cutting operation with minimum ecological hazard (Shokoohi, Khosrojerdi, & Shiadhi, 2015). Therefore, MQL assisted machining and especially milling of hard-to-cut materials became very popular. Basically, MQL provides sustainable machining as giving the pulverized oil to the cutting area instead of ejaculating as is in the flood cooling (Çetindağ, Çiçek, & Uçak, 2020). Primary advantage in here is to supply pulverized oil sufficiently into the cutting zone with reducing coefficient of friction and cutting temperatures. Seemingly, they are much more effective than dry and flood cooling conditions for improved machinability.

In the past, a variety of papers have been published considering the valuable effects of pure-MQL or additive MQL methods in milling of hard materials. Among them, a handful of paper have been investigated the effect of MQL application on surface roughness. In a paper (Do & Le, 2019), Taguchi design based MQL employment was tried for obtaining optimum cutting conditions in order to produce minimum surface roughness of AISI H13 steel. They analyzed and predicted the results and showed the applicability of MQL technique on hard milling. A study performed on the optimization of parameters for

surface roughness in hard milling of AISI H13 steel under different MQL conditions with several ingredients (Hsu, 2016). On another work, Mihn et al. (Minh, The, & Bao, 2017) measured the performance of nanofluid addition on surface roughness during hard milling of 60Si₂Mn steel. According to the researchers (Jamil et al., 2021), MQL conditions produced better surface roughness compared to dry milling. In milling of AISI O2 using MQL system, borax and boric acid additives were used in order to improve machinability. Promising results were obtained by using different additives which presented also eco-friendly machining environment. A mathematical modeling approach was developed via response surface methodology and Taguchi method in end milling of AISI 4140 (Mia, 2018). This MQL assisted experimental work was analyzed statistically as well. Bashir et al. investigated surface milling of AISI 4140 steel under MQL conditions (Al Bashir, Mia, & Dhar, 2018). Accordingly, better surface quality and machining characteristics were obtained by MQL utilization. Khaliq et al. studied about the surface quality of Ti-6Al-4V material comparing dry and MQL conditions which showed the superiority of MQL method at the end (Khaliq, Zhang, Jamil, & Khan, 2020). MQL adapted milling was performed on another study (Iqbal, Ning, Khan, Liang, & Dar, 2008) for modeling the effects of cutting parameters for hardened steels while considering tool life. Wang et al. evaluated the effect of MQL on milling of Inconel 182 material (Wang, Li, Chen, & Liu, 2015). It seemed that MQL application had no significant impact on optimum parameters in order to obtain minimum surface roughness when compared with dry cutting. Hassanpour et al. researched surface roughness in hard milling of AISI 4340 steel for measuring the effects of basic cutting parameters (Hassanpour, Sadeghi, Rasti, & Shajari, 2016). During milling of Hastelloy C276, nanofluid participation was experimented from authors (Günan, Kivak, Yıldırım, & Sarıkaya, 2020) under MQL conditions. Optimum cutting parameters were found for minimum surface roughness in addition to tool wear mechanisms. In milling of Inconel 718, MQL was applied for surface roughness improvement in the perspective of sustainable machining (Anand & Mathew, 2020). Gupta et al. focused on sustainability as well considering machinability of Inconel 800 in order to demonstrate the effect of cooling conditions (Gupta et al., 2018). As it can be seen, a number of paper have been published for performance improvement and increasing the machinability of hard steels via MQL system for many workpiece material.

Despite many works performed in the literature about hard machining and eco-friendly milling, none of them focused on the sustainable milling of Strenx 1100 structural steel. From this point of view, the presented paper investigates surface roughness of the Strenx 1100 steel during milling under MQL conditions. Taguchi based experimental design was adopted using 3 levels of cutting speed, feed rate and depth of cut. The obtained results were evaluated with statistical analysis and 3d plot graphs in order to observe the effects of the cutting parameters. Also, optimizations of the parameters were carried out to obtain the best milling parameters.

2. Material and Method

2.1. Cutting Tool and Workpiece Materials Specifications

During the experiments, cutting tool inserts coded as APXT 1604 PDSR-MM TIN (Korloy) were utilized for milling. As per

standardized experimentation, a separate cutting insert was used for each test. In addition, cutting tool holder coded 403 BT 40 ER32 x 70 (Mas) was selected.

In the experiments, quenched-tempered Strenx 1100 steel having 32 HRC is used with the dimensions of 100 x 100 x 40 mm. The chemical composition (Table 1) and mechanical properties (Table 2) are given in the following Tables. In order to determine cutting conditions, recommendations of manufacturer were considered.

Table 1. Chemical composition of the material (SSAB, 2021)

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	B
Bal.	0.21	0.5	1.4	0.02	0.005	0.8	0.3	3	0.7	0.005

Table 2. Mechanical properties of the material (SSAB, 2021)

Yield Strength (min. MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (min. %)
1100	1250-1550	10

2.2. Machine Tool and Experiments

Experiments were performed under MQL conditions applying three cutting speeds (75-150-225 m/min), feed rates (0.075-0.15-0.225 mm/rev and depth of cut values (0.25-0.5-0.75 mm) respectively. Experimental tests were performed on rigid-structured CNC milling machine (DAHLIL). Before the experiments, comprehensive preliminary tests were carried out including wider range of cutting parameters. Then, considering the chips formation and chatter vibrations due to the high-strength structure of Strenx 1100 some parameters were eliminated. Eventually nine experimental lines were composed according to design of experiments. All experiments were repeated three times in order to obtain guaranteed experimental results and check the validity.

MQL system has two different parts including nozzle and supply unit. The oil used is KT 2000 injected by lubrication system (Werte) having 24 V AC/DC working voltage, 4 bars operational pressure and 50 ml/h with the amount of lubrication in unit time. The nozzle was placed as close as possible to the cutting area for obtaining standard oil supply to the cutting zone and fixed to tool holder for simultaneous motion with machining system. Figure 1 shows the experimental setup in detail and separately the workpiece material, MQL unit, machine tool and schematical abstract of the paper.

2.3. Taguchi Based Experimental Design

Taguchi experimental design is a fully accepted method which further enables to perform analysis and optimization for minimum number of experiments (Debnath, Reddy, & Yi, 2016). The importance of experimental design and optimization was approved from many authors in the past (Kuntoğlu & Sağlam, 2019). Main contributions of the Taguchi method are minimum labor, costs and energy consumption to the experimental burden. Especially, Taguchi method provides robust and reliable design which further bring high quality and efficiency in terms of produced part and machining time (Kuntoğlu, Aslan, Sağlam, et al., 2020). Due to the high costs of the material used in this study, Strenx 1100, Taguchi method appealed in order to reach

optimal solutions. Taguchi uses orthogonal arrays to reach minimum number of experiments. In Table 3, L₉ orthogonal array based on Taguchi design is demonstrated. Accordingly, cutting parameters are matched with Taguchi design parameters.

Table 3. Taguchi based experimental design

v _c (m/min)	f (mm/rev)	a _p (mm)
A	B	C
1	1	1
1	2	2
1	3	3
2	1	2
2	2	3
2	3	1
3	1	3
3	2	1
3	3	2

Taguchi refers to S/N ratio and objective function in order to determine performance characteristics (Bensouilah et al., 2016). Therefore, deviation of these characteristics was calculated by objective functions. In addition, Taguchi uses orthogonal arrays for ensuring to use minimum number of experiments while reducing the noise factors at the same time (Akıncioğlu, Gökçaya, & Uygur, 2016). There are three types of objective functions in the Taguchi design for determination of the desired approach for optimum value. Each approach set forth an equation according to the situation of the response parameter and requirements, namely, maximization, minimization and normalization. In this work, owing to the surface roughness is desired as small as possible, objective function is selected as smaller is better, as shown in the following:

$$S/N_{\text{smaller is the better}} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

2.4. Surface Roughness Measurement

Surface roughness was measured by roughness tester device (Insize ISR C100) after the milling experiments. After each test, measurements were taken from the machined surface for five times. Then, the lowest and the highest values were eliminated to avoid high deviations, the mean of the three values were calculated. Also, the calibration of the device was performed in order to prevent deviations.

For the evaluation of surface roughness, mostly used roughness parameter, arithmetical average value, Ra was selected. Ra uses long sampling rate which provides insensitivity to instant changes occur during machining. The parameter was preferred from many authors at the past (Kuntoğlu, Aslan, Sağlam, et al., 2020; Şap, Usca, Gupta, & Kuntoğlu, 2021; Şap, Usca, Gupta, Kuntoğlu, et al., 2021). The calculation of the surface roughness is represented in Equation 2. Here, L_m is the distance measured, and y is the deviation from the nominal surface.

$$Ra = \int_0^{L_m} \frac{|y|}{L_m} dx \quad (2)$$

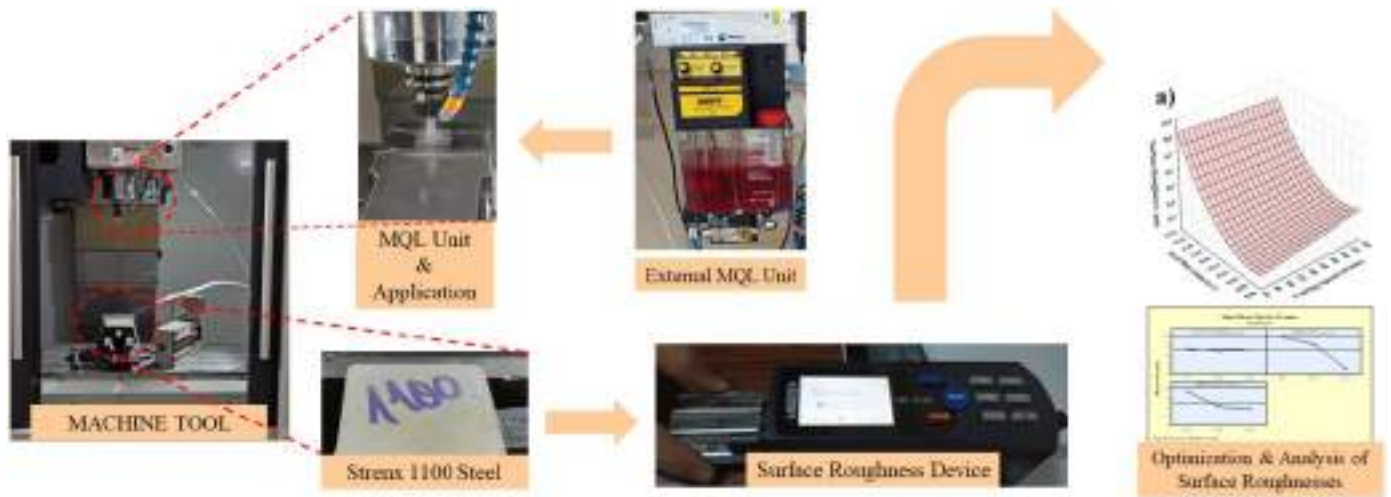


Figure 1. Experimental setup, measurement and graphical abstract

3. Results and Discussion

Surface roughness stands one of the important surface characteristics of a component produced (Şahinoğulları & Luş, 2021). Surface roughness has also practical significance with its potential to decrease down or increase up to a certain value by applying additional procedures. Therefore, it's crucial to monitor

and measure the surface roughness parameters in a number of engineering fields. As mentioned before, L_9 -orthogonal array design was adopted to the experimental work with using cutting speed, feed rate and depth of cut parameters. Experimental scheme and obtained surface roughness values are listed in Table 4.

Table 4. Cutting parameters used in the experiments and obtained surface roughness values

CUTTING SPEED (m/min)	FEED RATE (mm/rev)	DEPTH OF CUT (mm)	SURFACE ROUGHNESS (μm)
75	0.075	0.25	0.234
75	0.15	0.5	0.482
75	0.225	0.75	0.686
150	0.075	0.5	0.305
150	0.15	0.75	0.478
150	0.225	0.25	0.646
225	0.075	0.75	0.442
225	0.15	0.25	0.247
225	0.225	0.5	0.79

3.1. Graphical Analysis

As being a functional parameter of the manufactured component, surface roughness is a representative for understanding the machining quality. The main reason for the selection of surface roughness as machinability criteria in the past is being a prerequisite from receivers in the market. Basically, for the determination of component life and operational performance, surface roughness can be accepted as a good indicator (Mia & Dhar, 2018). Among all machining parameters, surface roughness exists one of the significant evaluation factors for workpiece as reflecting the surface morphology.

Surface roughness is affected from many factors during milling such as tool wear, disrupted tool geometry, chatter vibrations, high cutting forces etc. Besides, correct selections of cutting parameters and machine tool structure have great importance especially for precision engineering (Wojciechowski,

Maruda, Krolczyk, & Niesłony, 2018). Additionally, workpiece and cutting tool hardness and mechanical properties contributes to the production process. Theoretically, optimal parameters need to be found for the best surface roughness however, there are some allowances for this aim such as high cutting speed and low feed rate etc. From this point of view, the handled material is evaluated from the accumulated knowledge with 3d surface plots.

Discussion is performed on the arithmetical average value, R_a and demonstrated in Figure 2 according to combined effects of cutting speed, feed rate and depth of cut. When Figure 2a is considered, dominance of feed rate can be seen compared to cutting speed. Due to the feed rate is a function of surface roughness, it is expected that increasing feed rate increases surface roughness (Koklu & Çoban, 2020). Accordingly, with lower values of feed rate, roughness traces became more clear and that situation produce rough surface (Wu et al., 2018). The

effect of cutting speed can be avoided according to the Figure 2a.

In Figure 2b, it can be observed that increasing depth of cut increases surface roughness. Same situation was observed from authors (Hassanpour et al., 2016) in hard milling under MQL conditions. Cutting speed has fluctuating effect on surface roughness according to changing depth of cut values. As expected, increasing cutting speed softens the workpiece material and makes easier cutting process. This reduces cutting temperatures and tool wear progression and indirectly improves surface roughness (Hassanpour et al., 2016). This influence slightly reduces at higher depth of cut values. This can be

attributed to the better contact conditions between cutting tool and workpiece which develops the cutting ability of tool.

Figure 2c demonstrates the improvement effect of the combination of feed rate and depth of cut. This is due to the reduced plowing effect which can be eliminated at low depth of cut and high feed rate values owing to reduced uncut chip thickness (Cui, Zhao, Jia, & Zhou, 2012). As feed rate increases, the slope of the surface roughness curve increases as well. This situation comes from the equation defines the relationship between the square of feed rate and surface roughness (Kuntoğlu, Aslan, Pimenov, et al., 2020). The effect of depth of cut seems ignorable after a certain value of feed rate.

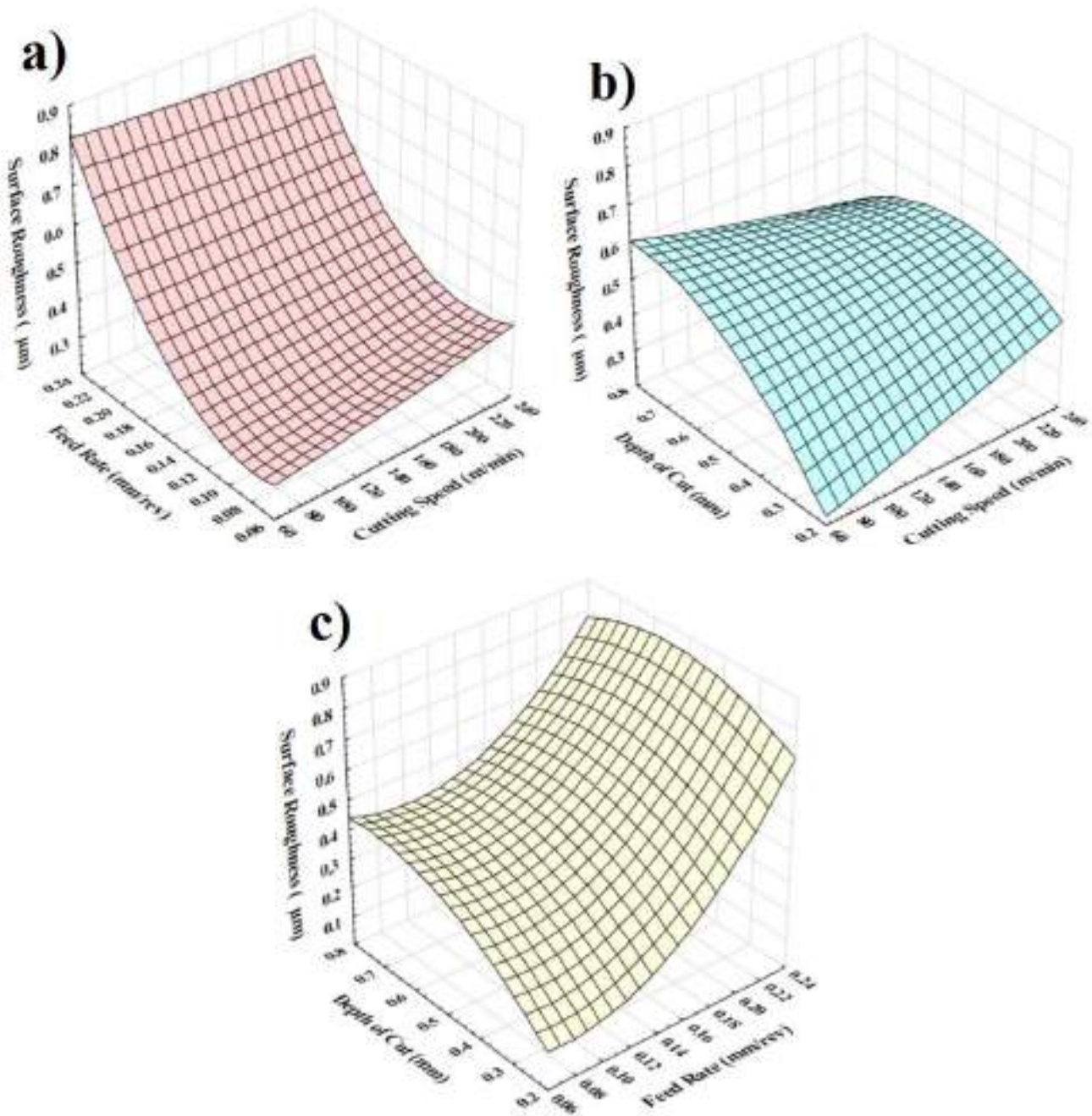


Figure 2. 3d plots for the combined effect of cutting parameters on surface roughness

3.2. Optimization of Parameters for Surface Roughness

Optimization aims to find the best conditions in an engineering problem substantially. In the machining perspective, any input namely cutting parameters, tool geometry components, lubrication conditions, material specifications can be optimized

any input namely cutting parameters, tool geometry components, lubrication conditions, material specifications can be optimized

for all response parameters such as tool wear, cutting forces, surface roughness etc. In this context, Taguchi based S/N ratios were used in order to minimize surface roughness with optimizing cutting speed, feed rate and depth of cut values as represented in Figure 3. In the graphs, three levels of cutting parameters are ordered with calculating the S/N ratios. Accordingly, first levels of all parameters should be selected in

order to obtain minimum surface roughness. When looking to the experimental results in Table 4, Taguchi findings can be validated. Also, in Figure 2, lowest surface roughness values are observed at these cutting conditions as well. The harmony between graphs and optimum results shows the robustness of Taguchi design and applicability of this method in milling of Strenx 1100 steel under MQL conditions with high reliability.

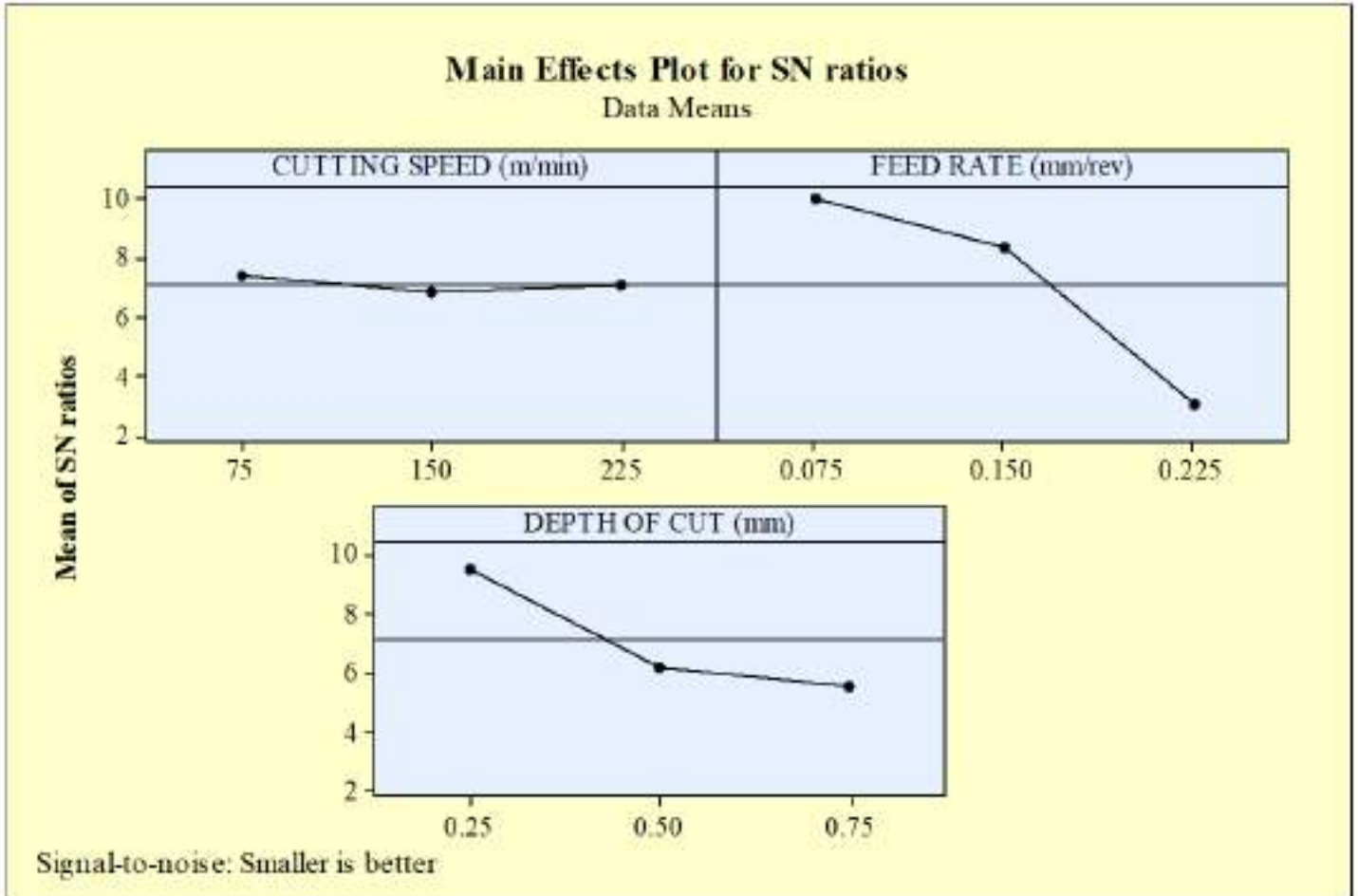


Figure 3. Optimum cutting parameters for minimum surface roughness

3.3. Analysis of Variance Results

Anova provides the amount of effectiveness of each parameter on the response parameter. This analysis presents statistical approach essentially using several calculation methods. Anova is utilized in wide range applications in engineering field. From the point of view of machining operations, the changes at cutting parameters may have outstanding influence on variables due to the complex structure of machining and interrelated interactions between parameters. The knowledge about parameter effects help researchers and manufacturers to understand the underlying mechanism of any metal cutting operation. This further brings to tune the input parameters and pave the way for optimization.

Table 5 demonstrates Anova results for surface roughness for each source and their statistical importance in terms of three criteria. According to this analysis, feed rate seems as the dominant parameter (66.9%) on surface roughness, followed by depth of cut (22.5%) for the evaluation with percent contribution (PC). Seemingly, cutting speed (0.4%) has no important influence on surface roughness. On the other hand, F value and P value show the same results about the parameter effect. In a nutshell, graphical representation, optimization and statistical analysis results support each other which show the consistency of the applied methods.

Table 5. Analysis of variance results for surface roughness

Source	DF	Seq. SS	Adj. MS	F-value	P-value	PC (%)
Cutting Speed	2	0.488	0.2438	0.04	0.961	0.4
Feed Rate	2	79.144	39.5719	6.54	0.133	66.9
Depth of Cut	2	26.626	13.3131	2.20	0.312	22.5
Residual Error	2	12.1	6.0499	-	-	10.2
Total	8	118.357	-	-	-	100

4. Conclusions and Recommendations

Its very crucial in today's rivalry manufacturing world to reach the best machining conditions for high quality components. Besides, developing environmentally friendly machining conditions is an inevitable requirement for the purpose of green manufacturing. This study focuses on the surface roughness assessment during milling of Strenx 1100 steel for the first time in literature. Considering sustainable machining by using MQL, cutting speed, feed rate and depth of cut values are utilized to create experimental plan. The experimental results are evaluated using 3d surface plots, S/N ratio of Taguchi and Anova methods. From the obtained results, following deductions can be performed:

1. According to the graphical analysis, feed rate showed peculiar influence on surface roughness irrespective of depth of cut or cutting speed values. A direct proportion can be observed with feed rate and surface roughness which is attributed to the situation that the feed rate is function of surface roughness. Increasing depth of cut increases surface roughness especially for the lower feed rate and cutting speed values. Reduced cutting ability of cutting tool due to the lower speeds produces rough surface.
2. Taguchi's S/N ratios demonstrated that first level of cutting speed, feed rate and depth of cut should be selected for the best surface roughness value.
3. When compared with the experimental results and graphical representations, Taguchi provided compatible suggestions which demonstrates the reliability of the method used.
4. First level of cutting parameters such as $v_c=75$ m/min, $f=0.075$ mm/rev and $a_p=0.25$ mm need to be chosen for minimization of surface roughness.
5. Lastly, Anova results indicated that feed rate is the dominant factor on surface roughness (66.9%) and followed by depth of cut (22.5%) and cutting speed (0.4%) respectively.
6. And according to the F-values, feed rate is the most effective parameter (6.54) on surface roughness. Then depth of cut (2.20) and cutting speed (0.04) follow it.
7. In a word, evaluation methods for surface roughness of Strenx 1100 steel in MQL assisted milling provide reliable solutions for the best machining conditions. This shows that general approach presented in this work can be applicable in industrial applications. And finally, this can be an efficient way for the sustainable milling of hard materials in the future.

References

- Akıncıoğlu, S., Gökkaya, H., & Uygur, İ. (2016). The effects of cryogenic-treated carbide tools on tool wear and surface roughness of turning of Hastelloy C22 based on Taguchi method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(1-4), 303-314.
- Al Bashir, M., Mia, M., & Dhar, N. R. (2018). Investigations on surface milling of hardened AISI 4140 steel with pulse jet MQL applicator. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*, 99(3), 301-314.
- Anand, K., & Mathew, J. (2020). Evaluation of size effect and improvement in surface characteristics using sunflower oil-based MQL for sustainable micro-endmilling of Inconel 718. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(4), 1-13.
- Bensouilah, H., Aouici, H., Meddour, I., Yallese, M. A., Mabrouki, T., & Girardin, F. (2016). Performance of coated and uncoated mixed ceramic tools in hard turning process. *Measurement*, 82, 1-18.
- Boswell, B., Islam, M. N., Davies, I. J., Ginting, Y., & Ong, A. K. (2017). A review identifying the effectiveness of minimum quantity lubrication (MQL) during conventional machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1), 321-340.
- Cui, X., Zhao, J., Jia, C., & Zhou, Y. (2012). Surface roughness and chip formation in high-speed face milling AISI H13 steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(1), 1-13.
- Çetindağ, H. A., Çiçek, A., & Uçak, N. (2020). The effects of CryoMQL conditions on tool wear and surface integrity in hard turning of AISI 52100 bearing steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 463-473.
- Das, A., Pradhan, O., Patel, S. K., Das, S. R., & Biswal, B. B. (2019). Performance appraisal of various nanofluids during hard machining of AISI 4340 steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 46, 248-270.
- Davim, J. P. (2011). *Machining of hard materials*: Springer Science & Business Media.
- Debnath, S., Reddy, M. M., & Yi, Q. S. (2016). Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning process using Taguchi method. *Measurement*, 78, 111-119.
- Do, T.-V., & Le, N.-A.-V. (2019). *Optimization of surface roughness and cutting force in MQL hard-milling of AISI H13 steel*. Paper presented at the Advances in Engineering Research and Application: Proceedings of the International Conference, ICERA 2018.
- Goindi, G. S., & Sarkar, P. (2017). Dry machining: a step towards sustainable machining—challenges and future directions. *Journal of cleaner production*, 165, 1557-1571.

- Gupta, M. K., Pruncu, C. I., Mia, M., Singh, G., Singh, S., Prakash, C., . . . Gill, H. S. (2018). Machinability investigations of Inconel-800 super alloy under sustainable cooling conditions. *Materials*, 11(11), 2088.
- Günan, F., Kivak, T., Yıldırım, Ç. V., & Sarıkaya, M. (2020). Performance evaluation of MQL with AL₂O₃ mixed nanofluids prepared at different concentrations in milling of Hastelloy C276 alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10386-10400.
- Hassanpour, H., Sadeghi, M. H., Rasti, A., & Shajari, S. (2016). Investigation of surface roughness, microhardness and white layer thickness in hard milling of AISI 4340 using minimum quantity lubrication. *Journal of cleaner production*, 120, 124-134.
- Hosseini, S., Beno, T., Klement, U., Kaminski, J., & Rytberg, K. (2014). Cutting temperatures during hard turning—Measurements and effects on white layer formation in AISI 52100. *Journal of materials processing technology*, 214(6), 1293-1300.
- Hsu, Q.-C. (2016). Optimization of minimum quantity lubricant conditions and cutting parameters in hard milling of AISI H13 steel. *Applied Sciences*, 6(3), 83.
- Iqbal, A., Ning, H., Khan, I., Liang, L., & Dar, N. U. (2008). Modeling the effects of cutting parameters in MQL-employed finish hard-milling process using D-optimal method. *Journal of Materials Processing Technology*, 199(1-3), 379-390.
- Jamil, M., Zhao, W., He, N., Gupta, M. K., Sarıkaya, M., Khan, A. M., . . . Pimenov, D. Y. (2021). Sustainable milling of Ti–6Al–4V: A trade-off between energy efficiency, carbon emissions and machining characteristics under MQL and cryogenic environment. *Journal of cleaner production*, 281, 125374.
- Kene, A. P., & Choudhury, S. K. (2019). Analytical modeling of tool health monitoring system using multiple sensor data fusion approach in hard machining. *Measurement*, 145, 118-129.
- Khalik, W., Zhang, C., Jamil, M., & Khan, A. M. (2020). Tool wear, surface quality, and residual stresses analysis of micro-machined additive manufactured Ti–6Al–4V under dry and MQL conditions. *Tribology International*, 151, 106408.
- Koklu, U., & Çoban, H. (2020). Effect of dipped cryogenic approach on thrust force, temperature, tool wear and chip formation in drilling of AZ31 magnesium alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 2870-2880.
- Kuntoğlu, M., Aslan, A., Pimenov, D. Y., Giasin, K., Mikolajczyk, T., & Sharma, S. (2020). Modeling of cutting parameters and tool geometry for multi-criteria optimization of surface roughness and vibration via response surface methodology in turning of AISI 5140 steel. *Materials*, 13(19), 4242.
- Kuntoğlu, M., Aslan, A., Sağlam, H., Pimenov, D. Y., Giasin, K., & Mikolajczyk, T. (2020). Optimization and analysis of surface roughness, flank wear and 5 different sensorial data via tool condition monitoring system in turning of aisi 5140. *Sensors*, 20(16), 4377.
- Kuntoğlu, M., & Sağlam, H. (2019). Investigation of progressive tool wear for determining of optimized machining parameters in turning. *Measurement*, 140, 427-436.
- Kurc-Lisiecka, A., Piwnik, J., & Lisiecki, A. (2017). Laser welding of new grade of advanced high strength steel STRENX 1100 MC. *Archives of Metallurgy and Materials*, 62.
- Mia, M. (2018). Mathematical modeling and optimization of MQL assisted end milling characteristics based on RSM and Taguchi method. *Measurement*, 121, 249-260.
- Mia, M., & Dhar, N. R. (2018). Modeling of surface roughness using RSM, FL and SA in dry hard turning. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(3), 1125-1136.
- Ming, W., Shen, F., Zhang, G., Liu, G., Du, J., & Chen, Z. (2021). Green machining: A framework for optimization of cutting parameters to minimize energy consumption and exhaust emissions during electrical discharge machining of Al 6061 and SKD 11. *Journal of cleaner production*, 285, 124889.
- Minh, D. T., The, L. T., & Bao, N. T. (2017). Performance of Al₂O₃ nanofluids in minimum quantity lubrication in hard milling of 60Si2Mn steel using cemented carbide tools. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(7), 1687814017710618.
- Shokoohi, Y., Khosrojerdi, E., & Shiadhi, B. R. (2015). Machining and ecological effects of a new developed cutting fluid in combination with different cooling techniques on turning operation. *Journal of cleaner production*, 94, 330-339.
- SSAB. (2021). <https://www.ssab.com.tr/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=6A0A9E9AF58C4AA2A29FC15CA0CE2590&language=en>.
- Sun, S., Brandt, M., & Dargusch, M. (2010). Thermally enhanced machining of hard-to-machine materials—a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(8), 663-680.
- Şahinoğulları, E., & Luş, H. M. (2021). Effect of Machining on the Surface Roughness of 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 Steels After Nitriding. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(21), 410-415.
- Şap, E., Usca, U. A., Gupta, M. K., & Kuntoğlu, M. (2021). Tool wear and machinability investigations in dry turning of Cu/Mo-SiC p hybrid composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-18.
- Şap, E., Usca, Ü. A., Gupta, M. K., Kuntoğlu, M., Sarıkaya, M., Pimenov, D. Y., & Mia, M. (2021). Parametric Optimization for Improving the Machining Process of Cu/Mo-SiCP Composites Produced by Powder Metallurgy. *Materials*, 14(8), 1921.
- Wang, C., Li, K., Chen, M., & Liu, Z. (2015). Evaluation of minimum quantity lubrication effects by cutting force signals in face milling of Inconel 182 overlays. *Journal of cleaner production*, 108, 145-157.
- Wojciechowski, S., Maruda, R. W., Krolczyk, G. M., & Niesłony, P. (2018). Application of signal to noise ratio and grey relational analysis to minimize forces and vibrations during precise ball end milling. *Precision Engineering*, 51, 582-596.
- Wu, Q., Xie, D.-J., Si, Y., Zhang, Y.-D., Li, L., & Zhao, Y.-X. (2018). Simulation analysis and experimental study of milling surface residual stress of Ti-10V-2Fe-3Al. *Journal of Manufacturing Processes*, 32, 530-537.



Toprak Organik Karbonu ve Toprak Organik Karbon Stokları üzerine 1970-2021 Yılları Arasında Yapılan Araştırmaların Bibliyometrik Analizi

Emre Çomaklı^{1*}

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8477-7076), emrecomakli@atauni.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 29 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 12 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.929666)

ATIF/REFERENCE: Çomaklı, E. (2021). Toprak organik karbonu ve toprak organik karbon stokları üzerine 1970-2021 yılları arasında yapılan araştırmaların bibliyometrik analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 517-524.

Öz

Bibliyometrik analiz yöntemi, dünyadaki bilimsel çalışmaların değişim süreçlerini analiz etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda bibliyometrik analiz; araştırma eğilimlerinin belirlenmesinde önemlidir. Bu makalede, Web of Science'ta taranan dergilerde yayınlanan makalelere dayanarak, 1970-2021 yılları arasında toprak organik karbonu ve toprak organik karbon stokları üzerine yapılan bilimsel araştırmaların performansının ve değişim süreçlerinin bibliyometrik analizi yapılmıştır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin iyileştirilmesinde kilit bir role sahip olan toprak organik karbonunun karasal ekosistemlerde tutulması bilim adamlarının dikkatini çekmektedir. Yapılan bu çalışmanın sonuçları konu ile ilgili yapılan makalelerin günden güne artmakta olduğunu göstermektedir. Bu alandaki ilk çalışma 1991 yılında yapılmış olsa da araştırmaların çoğu 2020 yılında yapılmıştır. Makalelerin büyük bölümünün yayın dilinin İngilizce olduğu ortaya çıkmıştır. En fazla çalışma toprak bilimleri kategorisinde olup konu ilgili en fazla yayın Geoderma dergisinde yayınlanmıştır. Araştırma alanı bazında değerlendirildiğinde en fazla araştırma tarım alanında olup bunu çevre bilimleri, yer bilimleri ve ormancılık bilimleri takip etmiştir. ABD ve Çin çalışmalarda en aktif olan iki ülke olup ABD toprak organik karbonu araştırmalarında lider konumdadır. Konu ile ilgili en çok alıntı yapılan yazarlar ise Koegel-Knabner, Ingrid, Smith, Pete ve Lal, Rattan olmuştur. Güncel araştırmalar tarım bilimleri, yer bilimleri ve ekoloji alanında yoğunlaşmıştır. Tarım bilimleri alanında yapılan çalışmalarda genellikle iklim değişikliği ve gıda güvenliği konuları ele alınmıştır. Yapılacak olan çalışmalarda karbon bütçesi, gıda güvenliği ve toplum sağlığı konularının üzerinde durulması ilgili alandaki boşlukların doldurmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toprak organik karbonu, Bibliyometrik analiz, Toprak organik karbon stokları, VOSviewer.

Bibliometric Analysis of Researches on Soil Organic Carbon and Soil Organic Carbon Stocks from 1970 to 2021

Abstract

Bibliometric analysis method is widely used to analyze the processes of change in scientific studies around the world. In this context, bibliometric analysis; It is important in determining the trend of research. In this article, a bibliometric analysis of the performance and change processes of scientific research on soil organic carbon and soil organic carbon stocks between 1970 and 2021 was conducted, based on articles published in journals scanned in Web of Science. The sequestration of soil organic carbon in terrestrial ecosystems has a key role in ameliorating the negative effects of climate change, and this attracts the attention of scientists. The results of this study show that the articles on the subject are increasing day by day. Although the first study in this area was conducted in 1991, most of the research was done in 2020. It has been determined that the publication language of most of the articles is English. The most studies are in the category of soil sciences and the most publications related to the subject have been published in Geoderma journal. When evaluated on the basis of research area, the most research is in agriculture, followed by environmental sciences, earth sciences and forestry sciences. The USA and China are the two most active countries in studies, and the USA is the leader in soil organic carbon research. The most cited authors on the subject are Koegel-Knabner, Ingrid, Smith, Pete and Lal, Rattan. Current research focuses on agricultural sciences, earth sciences and ecology. Climate change and food security issues have been discussed. It is thought that focusing on carbon budget, food safety and public health issues in the studies to be carried out will contribute to filling the gaps in the related field.

Keywords: Soil organic carbon, Bibliometric analysis, Soil organic carbon stocks, VOSviewer.

* Corresponding Author: emrecomakli@atauni.edu.tr

1. Giriş

Dünya'da nüfus artışının hızlanmasıyla doğal kaynaklar üzerine olan baskı günden güne artmış ve günümüzde de artarak devam etmektedir. Bu baskıların doğrudan ve dolaylı etkilerine bağlı olarak küresel ısınma ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri daha derinden hissedilmeye başlamıştır. Bu gelişmeler dünyanın en büyük karasal karbon havuzu olan toprağın; uzun vadede karbon depolama potansiyeline bağlı olarak iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletmesi nedeniyle daha ilgi çekici noktalara gelmesini sağlamıştır (Deluca and Boisvenue, 2012; England and Viscarra Rossel, 2018; Moharana et al., 2021). Toprak organik karbon konsantrasyonlarının artırılması; mikrobiyal aktivitenin artışı ile birlikte toprak kalitesinin korunması, gıda güvenliğinin sağlanması ve diğer fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Özellikle tarım arazilerinde toprak organik karbonunun (TOK) korunması, sürdürülebilir tarımsal üretim için hayati öneme sahiptir (Jiang et al., 2021; Lu and Liao, 2017). Bunun yanı sıra organik karbonunun toprakta tutulması toprak bozulmasının ve nihayetinde çölleşmenin etkilerinin azaltılmasında da etkin rol oynamaktadır (Ai et al., 2018; Gholizadeh et al., 2021; Rossel et al., 2019). Bu bağlamda küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin azaltılması, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması ve arazi tahribatının dengelenmesi gibi küresel öneme sahip konuların odağında olan toprak organik karbonunun bilim dünyasındaki durumu ve eğiliminin değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Bibliyometrik analizler, araştırma modellerinin ve araştırma alanlarının özelliklerini daha iyi tanımlamak için faydalı bir analitik yöntemdir (Bezak et al., 2021). Bibliyometri matematiksel istatistiğe dayalı nicel bir analiz yöntemidir. Belirli bir bilimsel alandaki araştırmaların çarpıcı noktalarının belirlenmesine ve yapılacak çalışmaların eğilimlerini analiz etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Pan et al., 2021; Sökmen and Nalçacı, 2020; Zhang et al., 2020). Literatür analizi araç olarak, toprak biliminde de popülerlik kazanmakta ve bu alandaki çalışmaların sayısı da artmaktadır. Bu çalışmalara; toprak erozyonu modellenmesinin Bibliyometrik analizi (Bezak et al., 2021), 1999'dan 2018'e kadar toprak sağlığı üzerine yapılan araştırmaların bibliyometrik analizi (Y. Liu et al., 2020), 1992 ve 2020 yılları arasında Toprak Besin Maddeleri Araştırmalarının Bibliyometrik Analizi (Pan et al., 2021), CiteSpace'e dayalı çölleşme restorasyonuna ilişkin bibliyometrik analiz (Hu et al., 2021) ve Su koruma ve toprak tutma ekosistem hizmetleri üzerine araştırmaların bibliyometrik analizi (S. Liu et al., 2020) örnek olarak verilebilir.

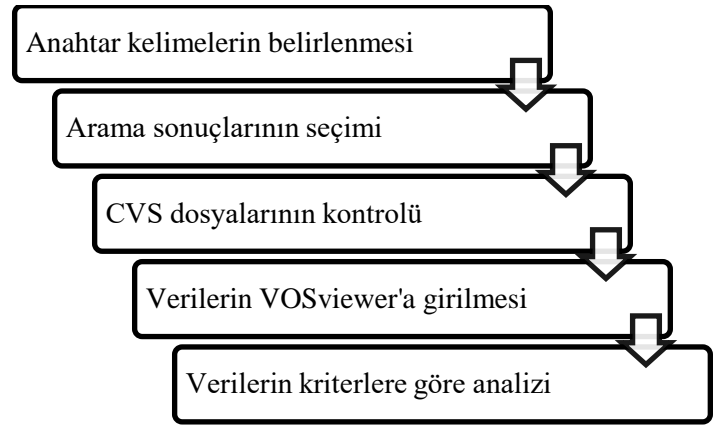
Toprak organik karbonu (TOK) konusunda birçok çalışma yapılmıştır, ancak bibliyometrik bir perspektiften toprak organik karbonu ile ilgili araştırma durumlarının ortaya konulması adına çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada TOK araştırmalarının mevcut durumunu ve eğilimlerini nesnel olarak anlamak için, 1970 ile 2021 yılları arasında TOK ile ilgili ilgili bilimsel yayınları analiz etmek ve TOK'un küresel araştırmalar

içerisindeki durumunu ortaya çıkarmak için bibliyometrik yöntemler uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Verilerin Toplanması

Bu çalışmada incelenen tüm makaleler Web of Science Core Collection'un Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) ve Social Sciences Citation Index (SSCI) çevrimiçi veri tabanlarından alınmıştır. Web of Science çekirdek koleksiyonu, farklı disiplinlerden 79 milyondan fazla kayıt (dergi vb.) 119.000'den fazla kitap ve 220.000'den fazla konferansın ele alındığı geniş bir yelpazeye sahiptir (Analytics, 2021). Veri alma stratejisi olarak konu = "toprak organik karbonu" ve "toprak organik karbon stokları", belge türü = "makale", zaman aralığı = "1970–2021" ve son tarih = "23 Nisan 2021" kullanılmıştır. SCIE ve SSCI veri tabanında, arama kriterlerine uyan ilk makale 1991'de yayınlanmış olup 1970'ten 2021'e kadar TOK araştırmasında 7511 makale değerlendirilmiştir. Araştırma, bibliyometrik analizin beş aşaması dikkate alınarak oluşturulmuştur (Şekil 1), (Putri et al., 2021).



Şekil 1. Bibliyometrik Analiz Aşamaları

2.2. Verilerin Analizi

Ulaşılan 7511 makalede en çok atıf alan kelimelerin bibliyometrik haritaları, en çok atıf alan yazarlar ve ülkeler VOSviewer 1.6.16 yazılımı yardımıyla elde edilmiştir. Aynı zamanda verilerin görselleştirme işlemleri de bu program kullanılarak yapılmıştır. Arama sonuçları, VOSviewer yazılımına girilmek üzere CSV formatında depolanmış ve sınıflandırmaları yapılarak analiz edilmiştir. Ayrıca analiz edilen verilerin doğrulamaları DOI'ler üzerinden tekrar yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Yayınlanan makalelerin dil bilgileri

"Toprak Organik Karbonu" konusunda WoS'da 1970'den 2021'e kadar indekslenen 7511 adet makaleye ulaşılmıştır. Ulaşılan makalelerin yaklaşık % 97'si İngilizce olarak yayınlanmış olup İngilizceyi, Portekizce (% 2,29) ve İspanyolca (% 0,40) takip etmiştir (Tablo 1); dolayısıyla bu alandaki en önemli çalışmalar İngilizce olarak yayınlanmıştır.

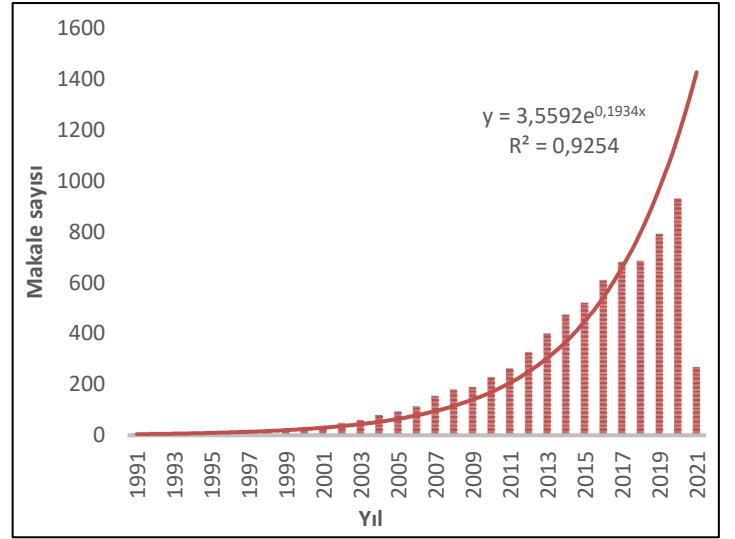
Tablo 1. 1970–2021 yılları arasında yayınlanan makalelerinin dil bilgileri

Makale dili	Makale sayısı	Yüzde (%)
İngilizce	7227	96,89
Portekizce	171	2,29
İspanyolca	30	0,40
Fransızca	12	0,16
Almanca	9	0,12
Lehçe	4	0,05
Rusca	2	0,05
Çince	1	0,03

Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunun İngilizce olarak yayınlanması İngilizcenin, uluslararası bir araştırma ve akademik yayın dili olarak kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır (Bocanegra-Valle, 2014). Aynı zamanda resmi dilin İngilizce olmadığı ülkelerde özellikle lisansüstü çalışmalarda İngilizceye öğretmeye yönelik artan bir eğilimin olması da bu durumu etkilemektedir (Galloway et al., 2020; Kamaşak et al., 2021; Macaro et al., 2018).

3.2 Makalelerin yıllara göre dağılımları

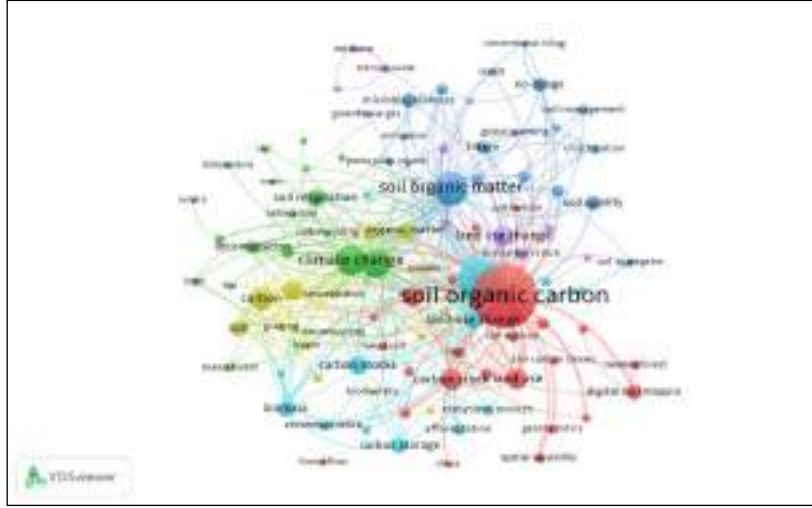
Toprak organik karbonu ve toprak organik karbon stokları konularında ulaşılan makalelerin ilki 1991 yılında yayınlanırken (5 makale), makalelerin çoğu 2020 yılında (994 makale) yayınlanmıştır. Konu ile ilgili makale sayıları 2021 yılına kadar her yıl bir önceki yıla göre artış göstermiştir. 2021 yılının ilk çeyreğinde ise 283 makale yayınlanmıştır. Web of Science'ta makalelerin yıllara göre dağılımı Şekil 2'de sunulmuştur. Ayrıca konu ile ilgili yayınlanan makaleler toplam 185.633 adet atıf almış olup makale başına ortalama atıf sayısı 24.71 olarak belirlenmiştir. Özellikle son yıllarda giderek artan küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin hissedilmesi; karasal karbon döngüsü üzerinde önemli etkilere sahip olan toprak organik karbon (TOK) üzerine olan çalışmalarda artışa neden olduğu düşünülmektedir. Nitekim toprağın, küresel karbon döngüsünün önemli bir bileşeni olduğu hem bilim camiası ve hemde politika yapımcılar tarafından kabul edilmektedir (Obersteiner et al., 2018). Aynı zamanda iklim toprak verimliliğinin artması ve iklim değişikliği ile mücadelede kilit rol oynaması konuya olan ilginin günden güne artmasına neden olmaktadır.



Şekil 2. Makale sayılarının yıllara göre dağılımı

3.3. En çok alıntı yapılan anahtar kelimeler

Çalışma kapsamında incelenen makalelerde en çok kullanılan anahtar kelimeler belirlenmiştir. Bir anahtar kelime seçeneğinin minimum oluşum sayısı 5 olarak kabul edilmiş ve VOSviewer yazılım aracında 100 anahtar kelime seçilmiştir. Ağ Anahtar kelimelerin ağ haritası Şekil 3'te sunulmuştur. Buna göre en sık kullanılan anahtar kelimelerin başında 'toprak organik karbonu', 'karbon tutulumu' ve 'toprak organik maddesi' gelmektedir. Ancak yapılan çalışmaların büyük kısmında iklim değişikliği ve küresel ısınma konularının işlendiği görülmektedir. Yine iklim değişikliğini etkileyen arazi kullanım değişiklikleri ve biyolojik çeşitliliğin korunması konuları da anahtar kelimelerde sık kullanılmamasına karşın özellikle son yıllarda yapılan makalelerde önemli yer tutmaktadır.



Şekil 3. Anahtar kelimelerin ağ haritası

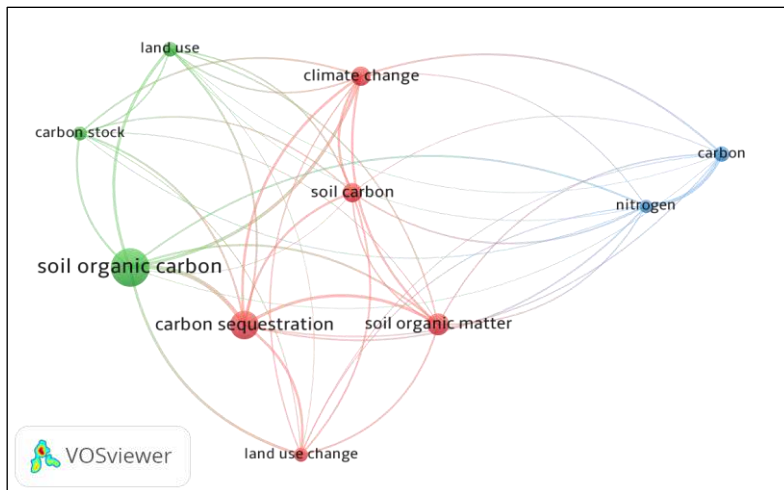
Makalelerde en çok kullanılan ilk 10 anahtar kelime Tablo 2'de sunulmuştur. Yapılan çalışmalarda toprak organik karbonunun arazi kullanım değişiklikleri ve iklim değişikliği konuları ile ilişkilendirildiği birçok çalışmanın olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Nitekim iklim değişikliği, TOK dinamiklerini etkileyen önemli bir faktördür ve arazi kullanım değişiklikleri, toprak C stokunu önemli ölçüde etkilemektedir (Li et al., 2021; Smith, 2008).

boyutu, makalelerde görülen anahtar kelimelerin sıklığını, çizgilerin kalınlığı ise birlikte kullanıma sıklığını göstermektedir. Buna göre toprak organik karbonu sıklıkla karbon tutulumu, iklim değişikliği toprak organik maddesi ve arazi kullanımı kelimeleri ile birlikte kullanılmıştır.

Tablo 2. Makalelerde en çok kullanılan 10 anahtar kelime

Anahtar kelime	Sayı
Soil organic carbon	1129
Carbon sequestration	651
Soil organic matter	415
Climate change	337
Soil carbon	328
Carbon	224
Land use	197
Carbon stock	190
Land use change	186
Nitrogen	178

En fazla kullanılan anahtar kelimelerin birlikte kullanıma sıklığını gösteren ağ haritası Şekil 4'te sunulmuştur. Düzgümlerin

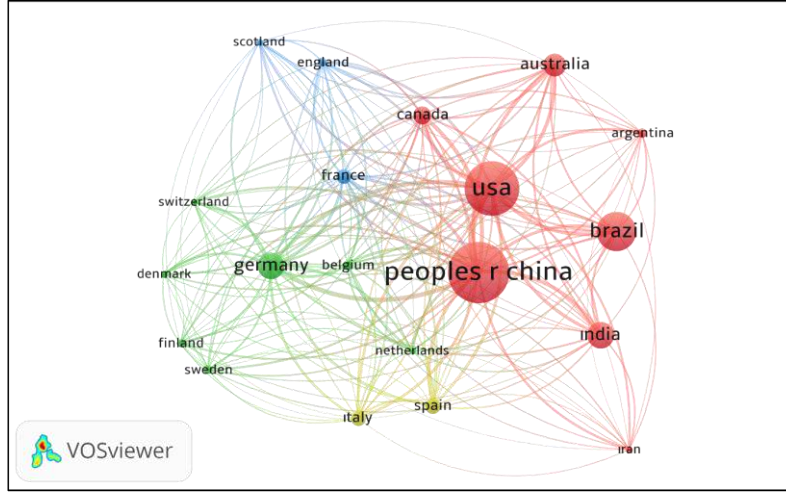


Şekil 4. En fazla kullanılan anahtar kelimelerin ağ haritası

3.4. En çok alıntı yapılan ülkeler ve yazarlar

En çok atıf alan ülkeleri belirlemek için çalışmaya dâhil edilen yayınların bibliyometrik ağ haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5).

Ağ haritasının oluşturulmasında VOSviewer yazılım aracında minimum kaynak belge sayısı 1 ve her ülkenin minimum atıf sayısı 1 olarak belirlenmiştir. ABD, Çin, Brezilya, Almanya ve Hindistan ağ haritasında odak ülkeler arasında yer almışlardır.



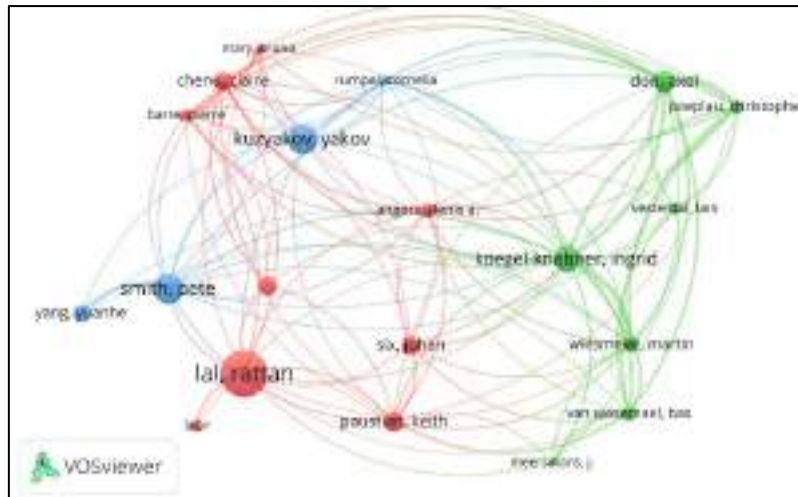
Şekil 5. En fazla alıntı yapılan ülkelerin ağ haritası

Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Almanya hem makale sayıları hem de alınan atıfta ilk üç sırada yer almıştır. Ağ haritasında odak ülkeler arasında bulunmayan Almanya en çok atıf alan 3. ülke olmuştur. Makale etki değerleri dikkate alındığında ise İngilterenin en yüksek etki değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. En çok atıf alan 10 ülke Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Makale ve atıf sayısına göre en iyi 10 ülke

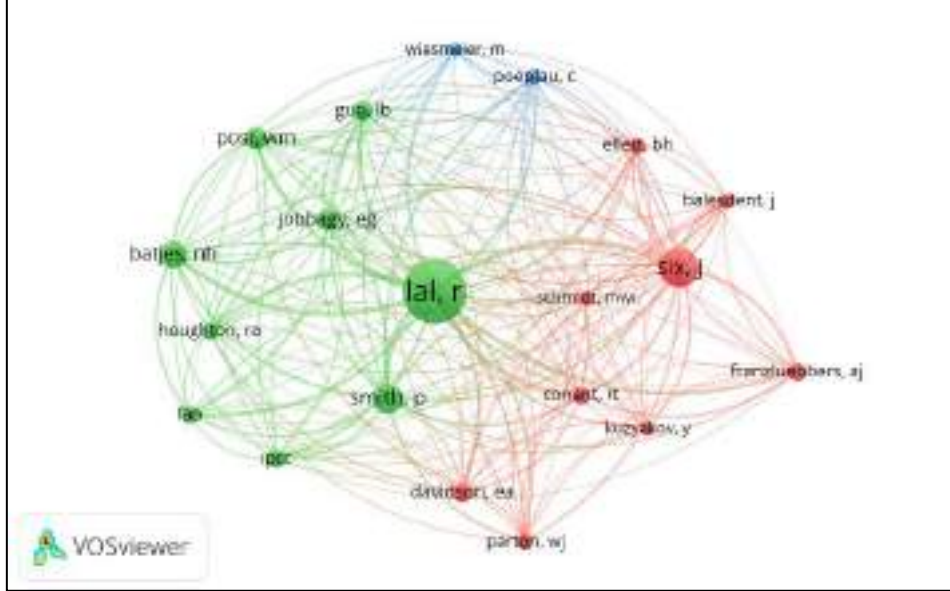
Ülke	Makale	Atıf
ABD	1794	63655
Çin	1640	30375
Almanya	866	28615
Brezilya	808	17180
Avustralya	580	15799
Fransa	447	15318
Kanada	431	14868
Hindistan	395	6386
İspanya	362	10406
İngiltere	357	14831

En çok atıf alan yazarlar için yapılan atıf analizinde en az 1 makalesi olup en az 1 atıf alan yazarlar tespit edilmiştir. Buna göre en çok atıf alan ilk 3 yazar Koegel-Knabner, Ingrid (Makale=40, Atıf=2772), Smith, Pete (Makale=48, Atıf=2643) ve Lal, Rattan (Makale=85, Atıf=2524) olmuştur. En çok atıf alan ilk 20 yazara göre oluşturulan ağ haritası Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. En fazla atıf alan 20 yazara ait ağ haritası (citation)

Ayrıca çok alıntı yapılan yazarlar için ortak atıf analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre en çok atıf alan ilk 3 yazar Lal, Rattan (Atıf = 4187), Six, Johan (Atıf = 2245) ve Smith, Pete (Atıf = 1624) olmuştur. Her iki değerlendirmede de üst sıralarda yer alan yazarların ortak yönü iklim değişikliği konularında çalışmakta olmalarıdır. En çok alıntı yapılan 20 yazara ait ağ haritasını Şekil 7 'de sunulmuştur.



Şekil 7. En fazla atıf alan 20 yazara ait ağ haritası (co-citation)

3.5. En fazla alıntı yapılan makale ve dergiler

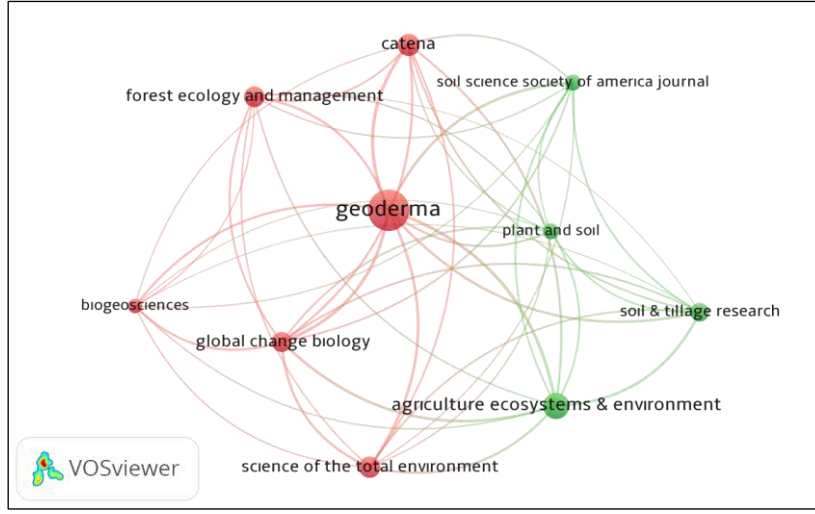
Araştırmaya konu olan 7511 makalenin 6656 tanesine en az 1 adet alıntı yapılmıştır. En çok atıf yapılan makale Nature dergisinde 2007 yılında Fontaine ve ark. tarafından yapılan 'Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply' başlıklı makale olmuştur. Makalede toprak profili boyunca tutulan karbon miktarları incelemiş ve fiziksel ve biyolojik süreçlerin toprak organik karbonunun ayrışma ve stok durumlarına olan etkileri değerlendirilmiştir. Tablo 4'te en çok alıntı yapılan 10 makaleye ait bazı bilgiler sunulmuştur.

Tablo 4. En fazla alıntı yapılan 10 makale

Makale Başlığı	Atıf
Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. Nature	1154
Soil respiration and the global carbon cycle. Biogeochemistry	1056
Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. Plant and Soil	765
Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. Nature geoscience	743
Age of soil organic matter and soil respiration: radiocarbon constraints on belowground C dynamics. Ecological Applications	683
Model estimates of CO ₂ emissions from soil in response to global warming. Nature	680
Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil	665
Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management	657
Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. Biogeochemistry	617
Improved estimates show large circumpolar stocks of permafrost carbon while quantifying substantial uncertainty ranges and identifying remaining data gaps. Biogeosciences	601

Konu ile ilgili en fazla makale Geoderma dergisinde (490) yayınlanmış olup bu dergiden toplam 15745 alıntı yapılmıştır.

İlk 10 dergiye ait ağ haritası Şekil 8'de sunulmuştur. Buna göre Geoderma, Catena ve Global Change Biology dergileri arasındaki ilişki diğer dergilere oranla daha fazla olmuştur. Ağ haritasında dergiler arasındaki ilişkinin sıklığı kalın çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 8. En fazla atıf alan 10 dergiye ait ağ haritası

3.6. En fazla yayın üreten kurumlar

En fazla makale üreten ülke ABD olmasına rağmen makale sayılarına göre kurumlar değerlendirildiğinde en fazla makale üreten ilk 3 kurum Çin'de bulunduğu tespit edilmiştir. En fazla makalenin yayınlandığı CAS'ın (Chinese Academy of Sciences) Dünyanın tüm ülkelerinden bilim insanlarını ve mühendisleri bir araya getirerek hem uygulamalı hem de teorik çalışmalarını desteklemesi bu noktada önemli olmaktadır. Çin'den sonra ABD ve Fransa ve Almanya gelmektedir. Toprak organik karbonu ve toprak organik karbon stokları konularından en üretken 10 kurum Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. En fazla yayın üreten 10 kurum

Kurum	Ülke	Makale	Atıf
Chinese Academy of Sciences	Çin	764	16010
University of Chinese Academy of Sciences	Çin	250	3454
Northwest A&F University	Çin	161	2922
Ohio State University	ABD	146	5694
Colorado State University	ABD	142	7406
Institut national de la recherche agronomique (INRA)	Fransa	131	6583
Technical University of Munich	Almanya	113	4850
University of Aberdeen	İskoçya	96	5153
Agriculture and Agri-Food Canada	Kanada	92	4988
Catholic University of Leuven	Belçika	68	3550

4. Sonuç

Toprak organik karbonu üzerine araştırmalar, giderek daha popüler olmaya başlamıştır. Toplam makale sayısı özellikle son 10 yıllık dönemde önemli ölçüde artış göstermiştir. Özellikle 2015 'den sonra ABD, Çin, Almanya ve Brezilya konu ile ilgili önemli çalışmalara imza atarak bu alanda lider konuma erişmişlerdir. Tüm Dünya'da olumsuz etkilerinin hissedildiği küresel ısınmada etkisiyle ülkeler arasındaki etkileşimler giderek daha aktif hale gelmiş ve kolektif çalışmalar yapılmaya başlamıştır. Toprak organik karbonu ile ilgili araştırmalarının kapsamı, iklim değişikliği, toprak organik maddesi, karbon tutulumu ve arazi kullanım değişikliklerinden ekosistem hizmetleri, gıda güvenliği ve enzim araştırmalarına kadar giderek genişleyen bir yelpazeye sahiptir. Toprak organik karbonunun gıda güvenliği ve toplum sağlığı arasındaki ilişkiler doğrudan ve/veya dolaylı ilişkileri ileri araştırmalara konu olabilir. Aynı zamanda arazi çalışmaları ile uzaktan algılama yöntemlerinin entegre edileceği çalışmaların daha fazla yapılması gerekmektedir. Son olarak konu ile ilgili yapılan çalışmaların değerlendirilmesinden hareketle; yapılacak olan yeni çalışmaların Avrupa Yeşil Mutabakatı'na katkı sağlayacak biçimde şekillendirilmesinin önemli olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Ai, M., Sun, Y., Yan, B., & Wei, Y. (2018). *A Summary of the Impact of Land Degradation on Soil Carbon Sequestration*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Analytics, C. (2021). Web of science platform: Web of science: Summary of coverage. Retrieved from <http://clarivate.libguides.com/webofscienceplatform/coverage>.
- Bezak, N., Mikoš, M., Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., . . . Cerdà, A. (2021). Soil erosion modelling: A bibliometric analysis. *Environmental Research*, 111087.

- 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.
- Deluca, T. H., & Boisvenue, C. (2012). Boreal forest soil carbon: distribution, function and modelling. *Forestry*, 85(2), 161-184.
- England, J. R., & Viscarra Rossel, R. A. (2018). Proximal sensing for soil carbon accounting. *Soil*, 4(2), 101-122.
- Galloway, N., Numajiri, T., & Rees, N. (2020). The 'internationalisation', or 'Englishisation', of higher education in East Asia. *Higher Education*, 80(3), 395-414.
- Gholizadeh, A., Rossel, R. A. V., Saberioon, M., Borůvka, L., Kratina, J., & Pavlů, L. (2021). National-scale spectroscopic assessment of soil organic carbon in forests of the Czech Republic. *Geoderma*, 385, 114832.
- Hu, H., Dai, J., Jin, Y., & Liu, X. (2021). Bibliometric analysis on desertification restoration based on CiteSpace. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(2), 1-10.
- Jiang, Z., Yang, S., Ding, J., Sun, X., Chen, X., Liu, X., & Xu, J. (2021). Modeling Climate Change Effects on Rice Yield and Soil Carbon Under Variable Water and Nutrient Management. *Sustainability*, 13(2), 568.
- Kamaşak, R., Sahan, K., & Rose, H. (2021). Academic language-related challenges at an English-medium university. *Journal of English for Academic Purposes*, 49, 100945.
- Li, H., Wu, Y., Chen, J., Zhao, F., Wang, F., Sun, Y., . . . Qiu, L. (2021). Responses of soil organic carbon to climate change in the Qilian Mountains and its future projection. *Journal of Hydrology*, 596, 126110.
- Liu, S., Lei, Y., Zhao, J., Yu, S., & Wang, L. (2020). Research on ecosystem services of water conservation and soil retention: a bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- Liu, Y., Wu, K., & Zhao, R. (2020). Bibliometric analysis of research on soil health from 1999 to 2018. *Journal of Soils and Sediments*, 20(3), 1513-1525.
- Lu, X., & Liao, Y. (2017). Effect of tillage practices on net carbon flux and economic parameters from farmland on the Loess Plateau in China. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1617-1624.
- Macaro, E., Curle, S., Pun, J., An, J., & Dearden, J. (2018). A systematic review of English medium instruction in higher education. *Language Teaching*, 51(1), 36-76.
- Moharana, P. C., Jena, R. K., Kumar, N., Singh, R. S., & Rao, S. S. (2021). Assessment of soil organic and inorganic carbon stock at different soil depths after conversion of desert into arable land in the hot arid regions of India. *Carbon Management*, 1-15.
- Obersteiner, M., Bednar, J., Wagner, F., Gasser, T., Ciais, P., Forsell, N., . . . Janssens, I. A. (2018). How to spend a dwindling greenhouse gas budget. *Nature Climate Change*, 8(1), 7-10.
- Pan, X., Lv, J., Dyck, M., & He, H. (2021). Bibliometric Analysis of Soil Nutrient Research between 1992 and 2020. *Agriculture*, 11(3), 223.
- Putri, C. R., Soleh, S. M., Saregar, A., Anugrah, A., & Susilowati, N. E. (2021). *Bibliometric analysis: Augmented reality-based physics laboratory with VOSviewer software*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- Rossel, R. V., Lee, J., Behrens, T., Luo, Z., Baldock, J., & Richards, A. (2019). Continental-scale soil carbon composition and vulnerability modulated by regional environmental controls. *Nature geoscience*, 12(7), 547-552.
- Smith, P. (2008). Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81(2), 169-178.
- Sökmen, Y., & Nalçacı, A. (2020). A Bibliometric Analysis of the Articles about Values Education. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 12(2), 720-735.
- Zhang, H., Liu, X., Yi, J., Yang, X., Wu, T., He, Y., . . . Tian, P. (2020). Bibliometric Analysis of Research on Soil Water from 1934 to 2019. *Water*, 12(6), 1631.



On the Spin Period of the Neutron Star in the Ultraluminous X-Ray Source M51 ULX-8

Mehmet Hakan Erkut^{1*}

^{1*} Istanbul Bilgi University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, 34060, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1054-264X), mherkut@gmail.com

(First received 2 May 2021 and in final form 12 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.931622)

ATIF/REFERENCE: Erkut, M. H. (2021). On the Spin Period of the Neutron Star in the Ultraluminous X-Ray Source M51 ULX-8. *European Journal of Science and Technology*, (25), 525-530.

Abstract

The recent discovery of periodic pulsations from several members of the ultraluminous X-ray source (ULX) family in nearby galaxies as well as in our own galaxy unveiled the nature of the accreting compact object. Neutron stars rather than black holes are currently believed to power a substantial number of ULXs whether or not pulsations are observed. The detection of cyclotron absorption lines in the X-ray spectrum of a ULX provides an alternative way to identify the compact object as a neutron star. Among the non-pulsating ULXs, the presence of a cyclotron resonance scattering feature (CRSF) in the spectrum of M51 ULX-8 has been reported. In the present work, the magnetic field strength on the surface of the neutron star in M51 ULX-8 is inferred from the energy of the observed CRSF to estimate the beaming fraction in X-ray emission and more importantly the observable range for the elusive neutron-star spin period to be hopefully discovered by the forthcoming space missions in the near future.

Keywords: Neutron stars, Accretion, X-ray binary stars.

Aşırı Parlak X-Işın Kaynağı M51 ULX-8'deki Nötron Yıldızının Dönme Periyodu Üzerine

Öz

Galaksimizi de içermek üzere yakın galaksilerdeki aşırı parlak X-ışın kaynak (APX) ailesinin bazı üyelerinden geldiği kısa süre önce keşfedilen periyodik pulsasyonlar madde yığıştıran yoğun cismin doğasını ortaya çıkarmıştır. Pulsasyon gözlenmiş veya gözlenmesin, günümüzde, önemli sayıda APX'e karadeliklerden daha çok nötron yıldızlarının güç sağladığına inanılmaktadır. Bir APX'in X-ışın tayfındaki siklotron soğurma çizgilerinin saptanması yoğun cismin bir nötron yıldızı olarak tanımlanabilmesi için alternatif bir yol sağlamaktadır. Pulsasyon göstermeyen APX'lerin arasında bulunan M51 ULX-8'in tayfındaki bir siklotron rezonans saçılım yapısının (SRSY) varlığı rapor edilmişti. Bu çalışmada, gözlenen SRSY'nin enerjisinden M51 ULX-8'deki nötron yıldızının yüzeyindeki manyetik alan yoğunluğu çıkarsanarak X-ışın salınımindaki hüzmeleme oranı ve daha da önemlisi yakın gelecekteki uzay görevleri sayesinde keşfedilmesi beklenen nötron yıldızının yakalanamamış dönme periyodunun gözlenebilme aralığı kestirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nötron yıldızları, Yığışma, X-ışın çift yıldızları.

* Corresponding Author: mherkut@gmail.com

1. Introduction

Ultraluminous X-ray sources (ULXs) are the brightest objects in X-rays after active galactic nuclei (AGN) and supernovae observed in nearby galaxies. Unlike AGN, ULXs are point sources that do not generally coincide with the nucleus of the galaxy. The X-ray luminosities of ULXs are usually in the $\sim 10^{39}$ - 10^{41} erg s^{-1} range and therefore exceed the Eddington luminosity of a stellar mass object such as a black hole of mass $< 10 M_{\odot}$ assuming that the X-ray emission is isotropic. It is now widely believed that the super-Eddington accretion of matter onto the stellar mass black holes and neutron stars in high-mass X-ray binaries and the geometrical beaming of radiation which measures the degree of anisotropy in emission can account for the standard 10^{39} - 10^{41} erg s^{-1} super-Eddington luminosity range. Albeit rare, however, the hyperluminous members of the ULX population with luminosities $\geq 10^{41}$ erg s^{-1} are likely to be powered by the so-called accreting intermediate mass black holes of 10^2 - $10^5 M_{\odot}$ (Kaaret et al., 2017).

The recent discovery of periodic pulsations in X-rays from seven ULXs have revealed that the accreting compact objects in these sources are in fact neutron stars rather than black holes. The neutron-star spin periods in these ULXs which consist of one galactic (Swift J0243.6+6124) and six extragalactic sources (ULX NGC 5907, ULX NGC 7793 P13, M82 X-2, NGC 300 ULX1, M51 ULX-7, NGC 1313 X-2) have been measured in the 0.417-31.6 s range (Bachetti et al., 2014; Fürst et al., 2016; Israel et al., 2017; Carpano et al., 2018; Wilson-Hodge et al., 2018; Sathyaprakash et al., 2019; Rodríguez Castillo et al., 2020). Both the super-Eddington (supercritical) accretion with moderate beaming and the existence of sufficiently strong pulsar magnetic fields to raise the critical luminosity level via reduction of the scattering cross section of the electron have been invoked in order to explain the observed super-Eddington luminosities of such ultraluminous X-ray pulsars (Bachetti et al., 2014; Ekşi et al., 2015; Erkut et al., 2020).

The lack of pulsations from ULXs cannot be a direct evidence for black holes. The accreting compact object in a ULX might be a neutron star and yet the spin modulation of the pulsar emission may not be observed due to either an optically thick environment enshrouding the magnetosphere and thus smearing out the X-ray pulsations (Ekşi et al., 2015) or a supercritical propeller phase fed by the spin-down power while accretion is halted (Erkut et al., 2019). Sufficiently small beaming fractions might also account for the absence of pulsations from most ULXs (Erkut et al., 2020). Among pulsating and non-pulsating ULXs, two sources namely NGC 300 ULX1 and M51 ULX-8 exhibited cyclotron absorption lines in their spectra. In the spectrum of the non-pulsating source M51 ULX-8, the cyclotron line was detected at ~ 4.52 keV (Brightman et al., 2018; Middleton et al., 2019). Despite the failure to detect any pulsations, the accreting compact object in M51 ULX-8 could certainly be identified as a neutron star owing to this cyclotron resonance scattering feature (CRSF).

In this paper, the main focus is given to the surface magnetic field strength of the neutron star in M51 ULX-8, which is inferred from the line energy of the observed CRSF. Our aim is to estimate the elusive spin period of the neutron star using the allowed region in the parameter space of beaming fraction and spin period. Our results would be helpful for the search of periodic pulsations to be discovered in the near future.

2. Material and Method

2.1. Basic Equations and Assumptions

The maximum critical luminosity of an accreting star increases following the reduction of the scattering cross section of electrons due to increase in the stellar surface magnetic field (Paczynski, 1992). In the absence of any magnetic field, the maximum critical luminosity is determined by the Eddington limit, that is, $L_c = L_E$. In accordance with Erkut et al. (2020), the maximum critical luminosity of an accreting neutron star can be expressed as

$$L_c = \left[1 + 311 \left(\frac{B}{B_c} \right)^{4/3} \right] L_E \quad (1)$$

where B is the neutron-star surface magnetic field, B_c is the quantum critical magnetic field for electrons given by

$$B_c = \frac{m_e^2 c^3}{\hbar e} \cong 4.4 \times 10^{13} \text{ G}, \quad (2)$$

and L_E is the Eddington luminosity that can be written as

$$L_E = 4\pi G M_* m_p c / \sigma_T. \quad (3)$$

Here, m_e and m_p represent the electron and proton masses, respectively, M_* is the neutron-star mass, σ_T is the Thomson cross section of the electron, and e is the elementary charge. All other symbols for fundamental constants have their usual meanings such as the speed of light, the gravitational constant, and the reduced Planck's constant.

The X-ray luminosity of the source is related to the X-ray flux through

$$L_X = 4\pi b d^2 F_X, \quad (4)$$

where $b \leq 1$ is the beaming fraction of the X-ray emission, d is the source distance, and F_X is the unabsorbed X-ray source flux received by the observer (Erkut et al., 2020). Assuming that the accretion luminosity is mostly emitted in X-rays, the X-ray luminosity can be written as

$$L_X = G M_* \dot{M}_* / R_* = \varepsilon \dot{M}_* c^2. \quad (5)$$

Here, R_* is the radius of the neutron star, ε is the efficiency of gravitational energy release, and \dot{M}_* is the rate of mass accretion onto the neutron-star surface (Erkut et al., 2020).

In a high-mass X-ray binary, the super-Eddington rate of mass transfer from the mass-donor star to the accretion disk around the neutron star must satisfy

$$\dot{M}_0 > \dot{M}_E = \frac{L_E}{\varepsilon c^2} \quad (6)$$

(Erkut et al., 2020). The mass accretion rate onto the neutron-star surface is only a fraction of this mass transfer rate, which is determined by the ratio of the inner disk radius R_{in} to the so-called spherization radius R_{sp} if $R_{in} < R_{sp}$. Otherwise, when $R_{in} >$

R_{sp} , both the mass transfer and mass accretion rates are the same (Shakura & Sunyaev, 1973).

For sources where the neutron stars are close to spin equilibrium, the lower limit of the beaming fraction can be written as

$$b_{\min} \cong 0.13 \left(\frac{M_*}{1.4 M_{\text{Sun}}} \right) \left(\frac{10^{-11} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}}{F_X} \right) \left(\frac{1 \text{ Mpc}}{d} \right)^2 \quad (7)$$

using the super-Eddington mass-transfer-rate condition in Equation (6) for both $R_{\text{in}} < R_{\text{sp}}$ and $R_{\text{in}} > R_{\text{sp}}$ (Erkut et al., 2020).

The upper limit of the beaming fraction can be estimated using the subcritical luminosity condition $L_X \leq L_c$, where the maximum critical luminosity is given by Equation (1). Substituting Equation (4) for the X-ray luminosity of the source, it follows from $L_X \leq L_c$ that

$$b \leq \left[1 + 311 \left(\frac{B}{B_c} \right)^{4/3} \right] \frac{L_E}{4\pi d^2 F_X} \quad (8)$$

Here, Equation (8) yields the upper limit of b provided the right hand side of the inequality is less than 1. Otherwise, $b = 1$ is the upper limit of the beaming fraction which can be expressed as

$$b_{\max} = \min \left\{ 1, \left[1 + 311 \left(\frac{B}{B_c} \right)^{4/3} \right] \frac{L_E}{4\pi d^2 F_X} \right\} \quad (9)$$

Using the definition of the fastness parameter ω and the inner radius of the accretion disk around the neutron star in a ULX, the dipolar magnetic field strength on the surface of the neutron star has been obtained by Erkut et al. (2020) as in their Equation (16), which is employed here to solve for the beaming fraction:

$$b = \frac{\pi^{4/3} R_*^5 B^2 \delta}{2^{5/3} \omega^{7/3} (GM_*)^{2/3} F_X d^2 P^{7/3}} \quad (10)$$

Note that the beaming fraction depends, in addition to other parameters, on the spin period of the neutron star, P , and the width of the boundary region, δ , where the magnetic field lines of the neutron star couple with the innermost disk matter due to Rayleigh-Taylor and Kelvin-Helmholtz instabilities that are believed to play role in the magnetic reconnection and heating in the atmosphere of the Sun as well (Çavuş & Hoshoudy, 2019).

2.2. Magnetic Field Inferred from the Cyclotron Absorption Line

In the spectra of X-ray sources harboring strongly magnetized neutron stars, cyclotron features are usually detected in the form of absorption lines as a result of resonant scattering of photons by charged particles such as electrons and protons with quantized energies, also known as Landau levels, associated with the motion of particles perpendicular to the magnetic field. These features are therefore expected to be produced near the magnetic poles of accreting neutron stars when the outgoing radiation, which is emitted close to the

surface of the neutron star, interacts with the infalling hot plasma of electrons and protons gyrating along the field lines.

The cyclotron line energies are given by the integer multiples of the energy quantum $\hbar\omega_{\text{cyc}}$, where

$$\omega_{\text{cyc}} = \frac{eB}{mc} \quad (11)$$

is called the gyro frequency of the charged particle of mass m . The observed energy of the cyclotron feature is redshifted if the line is generated near a gravitating object such as a neutron star. The energy of the cyclotron feature to be detected in the spectrum of a neutron-star source can therefore be expressed as

$$E_{\text{cyc}} = \frac{n\hbar e}{(1+z)mc} B. \quad (12)$$

Here, the gravitational redshift can be written as

$$z = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2GM_*}{c^2 R_{\text{cyc}}}}} - 1, \quad (13)$$

where R_{cyc} is the radius at which the photon is scattered. The fundamental line and its first harmonic correspond to the quantum numbers $n = 1$ (transition from the ground state to the first excited state) and $n = 2$ (transition from the ground state to the second excited state), respectively (Staubert et al., 2019).

Using $m = m_e$, the magnetic field can be estimated from Equation (12) as

$$B_e \cong \frac{E_{\text{cyc}}}{11.6 \text{ keV}} \left(\frac{1+z}{n} \right) \times 10^{12} \text{ G} \quad (14)$$

for the electron cyclotron resonance scattering feature (eCRSF). Similarly, substituting m_p for m in Equation (12),

$$B_p \cong \frac{E_{\text{cyc}}}{6.32 \text{ keV}} \left(\frac{1+z}{n} \right) \times 10^{15} \text{ G} \quad (15)$$

is found as the magnetic field estimate for the proton cyclotron resonance scattering feature (pCRSF).

3. Results and Discussion

3.1. Neutron-Star Magnetic Field in M51 ULX-8

Measuring the centroid energy of a CRSF in the source spectrum can provide a direct way of determining the magnetic field strength on the surface of a neutron star. The values estimated for B may however differ from each other by orders of magnitude depending on the interpretation of the CRSF in terms of electrons or protons. In Figure 1, the run of the surface magnetic field of the neutron star in M51 ULX-8 is displayed as the compactness changes from 0.5 to 2, which corresponds to the widest possible range with regard to the majority of neutron-star equations of state (Erkut et al., 2016). The compactness is defined as the neutron-star mass to radius ratio, where the mass and radius are normalized to one solar mass and 10 km, respectively. The field values inferred from the eCRSF and

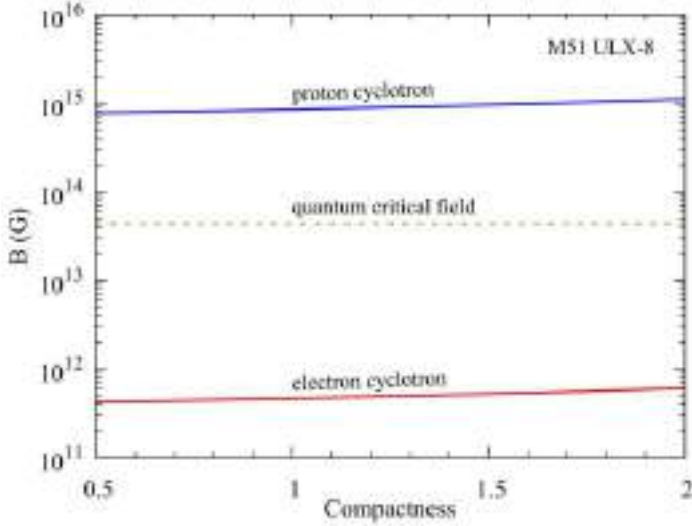


Figure 1. Magnetic field estimate for the widest range of the neutron-star compactness (mass to radius ratio) using the CRSF detected at 4.52 keV in the X-ray spectrum of M51 ULX-8 with regard to electrons and protons.

pCRSF interpretations are calculated by evaluating the observed line energy $E_{\text{cyc}} \approx 4.52$ keV (Brightman et al., 2018) in Equations (14) and (15). The feature at 4.52 keV is considered as the fundamental cyclotron line with $n = 1$ in line with Brightman et al. (2018) and the line is assumed to be generated close to the surface of the neutron star while estimating the gravitational redshift (Equation 13), i.e., $R_{\text{cyc}} = R_*$ (Becker et al., 2012). Note that the maximum variation of B , for either electrons or protons, is limited within a factor of ~ 1.5 over the whole range of compactness and yet the field values inferred from protons are higher than those inferred from electrons by more than three orders of magnitude. The magnetic field values reckoned by pCRSFs indeed surpass the quantum critical magnetic field for electrons (Equation 2), where the electron's rest mass and cyclotron energies are comparable.

One of the ways to differentiate between eCRSF and pCRSF is to refer to the relative width of the observed absorption line. The CRSF detected in the 0.5-8 keV X-ray spectrum of M51 ULX-8 by Chandra Observatory (Brightman et al., 2018) was modeled with the use of a Gaussian absorption line. A Gaussian width of $\sigma \approx 0.11$ keV was inferred from the spectral fit to data. The relative width was therefore estimated as $\sigma/E_{\text{cyc}} \approx 0.02$, which is much smaller than the typical values of the relative widths of eCRSFs observed in Galactic neutron-star binaries, where $\sigma/E_{\text{cyc}} > 0.1$ in most cases. If the line widths are mainly determined by the thermal Doppler broadening caused by the thermal velocities of charged particles, electrons rather than protons are expected to produce broader lines as the former is much lighter than the latter. Based on the similarities between the relative widths of the line in M51 ULX-8 and the absorption lines observed in several soft gamma-ray repeaters, which are believed to possess magnetar fields ($\sim 10^{14}$ - 10^{15} G), Brightman et al. (2018) came to the conclusion that the proton cyclotron interpretation is more likely.

The time resolved analysis by Middleton et al. (2019) to decompose the spectrum of M51 ULX-8 into the multiple components for depicting the broad-band behavior of the source, however, brought an upper limit of $\sim 10^{12}$ G on the dipole component of the magnetic field on the surface of the neutron star even though multipole fields of much higher strengths might

still be plausible. A broader line of width $\sigma \approx 1$ keV also seemed to be allowed by one of their time-averaged spectral fits, thus favoring the electron cyclotron interpretation for the observed feature at ~ 4.5 keV.

In the presence of unresolved issues that are merely related to the classification of the firmly detected cyclotron line in M51 ULX-8 as due to electrons or protons, while ruling out other possibilities such as the formation of absorption line due to any known atomic transitions (Brightman et al., 2018), both cases, namely electron and proton cyclotron interpretations, will be considered equally probable in the search for the elusive spin period of the neutron star in the next subsection.

3.2. Neutron-Star Spin Period in M51 ULX-8

Most of the pulsating ULXs (PULXs) with measured spin period P and period derivatives \dot{P} are characterized by the spin-up timescales of $P/\dot{P} \sim 10^2$ yr that are so short, when compared to their lifetime $\sim 10^6$ yr, that the neutron stars in these systems are expected to be near spin equilibrium as a result of the interaction of their magnetospheres with their accretion disks (Bachetti et al., 2014; Fürst et al., 2016). If the neutron star is indeed very close to spin equilibrium, surface magnetic fields of magnetar strength might be needed to account for both the observed spin-up rate of the object and the super-Eddington luminosity in X-rays by increasing the maximum critical luminosity of the accreting neutron star via the reduction of the scattering cross section (Ekşi et al., 2015).

As suggested by Erkut et al. (2020), the neutron-star ULXs in high-mass X-ray binaries may never reach true spin equilibrium in the course of their lifetime as they might swing between propeller and accretion states with spin down and spin up, respectively and yet they may still be close to spin equilibrium with a fastness parameter in the neighborhood of its critical value, i.e., $\omega \approx \omega_c$.

The lack of pulsations from M51 ULX-8 might be due to the high optical thickness of the medium engulfing the pulsed emission from the neutron star (Ekşi et al., 2015) or the sufficiently small beaming fraction, which is also expected to play role to some extent in the current statistics of PULXs and non-pulsating ULXs (Erkut et al., 2020).

Next, the neutron star in M51 ULX-8 will be assumed to be close to spin equilibrium. The critical value for the fastness parameter in Equation (10) will therefore be adopted, i.e., $\omega = \omega_c = 0.75$ (Türkoğlu et al., 2017) in addition to the numerical substitution for other quantities such as the source distance $d = 8.58$ Mpc, the 0.5-8 keV flux level $F_X \approx 5.43 \times 10^{-13}$ erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$ at which the CRSF was detected (Brightman et al., 2018), the magnetic field B inferred from the observed cyclotron energy at 4.52 keV for both electrons and protons (Equations 14 and 15; Figure 1), the relative width of the boundary region changing from $\delta \approx 0.01$ to $\delta \approx 0.3$ (Erkut & Çatmabacak, 2017; Erkut et al., 2020), and the canonical values $M_* = 1.4 M_\odot$ and $R_* = 10$ km for the neutron-star mass and radius, respectively.

Equation (10) is used to explore the parameter space of beaming fraction and spin period. The same numerical values for some of the parameters in Equation (10) are also employed in Equations (7) and (9) to set additional constraints on this parameter space to reveal the allowed region where the beaming fraction and neutron-star spin period are determined concurrently. In Figure 2, the variation of the beaming fraction

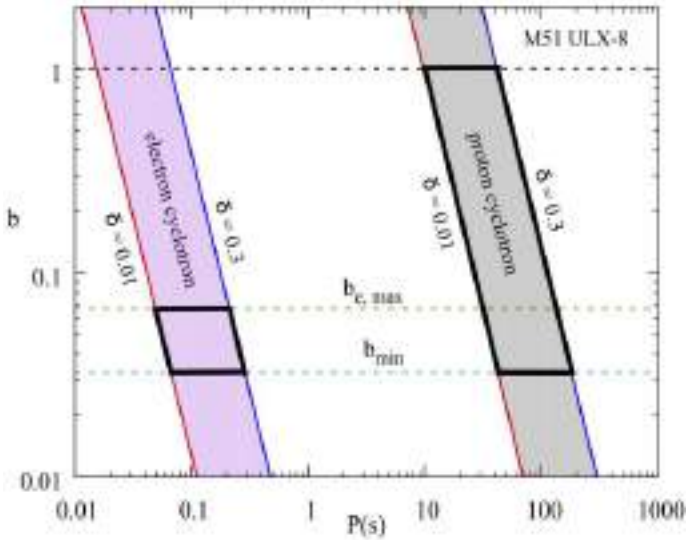


Figure 2. Beaming fraction as a function of the spin period of the neutron star in M51 ULX-8. The shaded areas bounded by the solid black curves show the allowed regions for the spin period and beaming fraction according to the electron and proton cyclotron interpretations.

with the spin period of the neutron star is shown in accordance with Equation (10). The two shaded areas correspond to the electron and proton cyclotron interpretations of the absorption line detected at 4.52 keV in the X-ray spectrum of M51 ULX-8. The boundaries of each shaded area are labeled with the upper and lower limits of δ . The allowed regions for the beaming fraction and spin period are determined by the minimum and maximum values of the beaming fraction (Equations 7 and 9) in addition to the boundaries of shaded areas.

Note from Equation (7) that b_{\min} is independent of the magnetic field and therefore is common to both electrons and protons whereas b_{\max} depends on the magnetic field (Equation 9). The upper limit of the beaming fraction for electrons $b_{e, \max}$ has a much smaller value than the upper limit of the beaming fraction for protons as the magnetic field estimated for the eCRSF is at least three orders of magnitude weaker than the field for the pCRSF (Equations 14 and 15). For the proton cyclotron interpretation, the upper limit of b estimated by the subcritical luminosity condition (Equation 8) exceeds 1 and thus must be replaced by the uppermost limit $b_{\max} = 1$, as shown in Figure 2.

In the case of eCRSF, the ranges for the neutron-star spin period and beaming fraction can be deduced from Figure 2 as $0.05 \text{ s} < P < 0.3 \text{ s}$ and $0.03 < b < 0.07$, respectively. In a similar way, $10 \text{ s} < P < 200 \text{ s}$ and $0.03 < b < 1$ are found for pCRSF.

4. Conclusions and Recommendations

Our estimates for the spin period and beaming fraction are based on the canonical values of the neutron-star mass and radius, i.e., $M_* = 1.4 M_{\odot}$ and $R_* = 10 \text{ km}$. The range for the beaming fraction slightly shifts toward higher values by a factor of ~ 1.4 if a higher mass value such as $M_* = 2 M_{\odot}$ is preferred for the neutron star, which would yield $0.04 < b < 0.1$ for eCRSF and $0.04 < b < 1$ for pCRSF (see Equations 7 and 9). The effect of the magnetic field variation on b_{\max} when the compactness changes from 1.4 to 2 is negligible (see Figure 1). For a given value of the beaming fraction, the spin period depends on the neutron-star mass and radius as

$$P \propto R_*^{15/7} M_*^{-2/7} \quad (16)$$

according to Equation (10). Note that P is highly sensitive to the radius. Increasing the neutron-star radius from 10 km to 13 km would raise the spin period by a factor of ~ 1.8 .

Even though the CRSF detected at $\sim 4.5 \text{ keV}$ in the Chandra X-ray spectrum of M51 ULX-8 strongly indicates that the accreting object is a neutron star rather than a black hole, no pulsations could be detected despite long exposure times, most probably because of low time resolution ($\sim 3.2 \text{ s}$) of the ACIS detectors on board Chandra (Brightman et al., 2018). If true, the allowed region determined in Figure 2 using the electron cyclotron interpretation becomes more likely for M51 ULX-8 to estimate P in the 0.05-0.3 s range and b in the 0.03-0.07 range with a magnetic field strength of $\sim 5 \times 10^{11} \text{ G}$ on the surface of the neutron star for a compactness of 1.4 (Figure 1). The elusiveness of pulsations may then be attributed to the relatively small values of the beaming fraction and spin period, which would otherwise be detected by the forthcoming missions such as Athena carrying the X-IFU detector with a high time resolution of 10 microseconds.

5. Acknowledge

The author is a member of Feza Gürsey Center for Physics and Mathematics at Boğaziçi University.

References

- Bachetti, M., Harrison, F. A., Walton, D. J., Grefenstette, B. W., Chakrabarty, D., Fürst, F., Barret, D., Beloborodov, A., Boggs, S. E., Christensen, F. E., Craig, W. W., Fabian, A. C., Hailey, C. J., Hornschemeier, A., Kaspi, V., Kulkarni, S. R., Maccarone, T., Miller, J. M., Rana, V., Stern, D., Tendulkar, S. P., Tomsick, J., Webb, N. A., & Zhang, W. W. (2014). An ultraluminous X-ray source powered by an accreting neutron star. *Nature*, 514(7521), 202-204.
- Becker, P. A., Klochikov, D., Schönherr, G., Nishimura, O., Ferrigno, C., Caballero, I., Kretschmar, P., Wolff, M. T., Wilms, J., & Staubert, R. (2012). Spectral formation in accreting X-ray pulsars: bimodal variation of the cyclotron energy with luminosity. *Astronomy & Astrophysics*, 544, Article A123.
- Brightman, M., Harrison, F. A., Fürst, F., Middleton, M. J., Walton, D. J., Stern, D., Fabian, A. C., Heida, M., Barret, D., & Bachetti, M. (2018). Magnetic field strength of a neutron-star-powered ultraluminous X-ray source. *Nature Astronomy*, 2, 312-316.
- Carpano, S., Haberl, F., Maitra, C., & Vasilopoulos, G. (2018). Discovery of pulsations from NGC 300 ULX1 and its fast period evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 476(1), L45-L49.
- Çavuş, H., & Hoshoudy, G. A. (2019). A viscous magnetohydrodynamic Kelvin-Helmholtz instability in the interface of two fluid layer: Part II. An application to the atmosphere of the Sun. *Astrophysics and Space Science*, 364(7), Article 115.
- Ekşi, K. Y., Andaç, İ. C., Çıkıntoğlu, S., Gençali, A. A., Güngör, C., & Öztekin, F. (2015). The ultraluminous X-ray source NuSTAR J095551+6940.8: a magnetar in a high-mass X-ray binary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 448(1), L40-L42.

- Erkut, M. H., Duran, Ş., Çatmabacak, Ö., & Çatmabacak, O. (2016). A new correlation with lower kilohertz quasi-periodic oscillation frequency in the ensemble of low-mass X-ray binaries. *The Astrophysical Journal*, 831(1), Article 25.
- Erkut, M. H., & Çatmabacak, O. (2017). Parallel tracks as quasi-steady states for the magnetic boundary layers in neutron-star low-mass X-ray binaries. *The Astrophysical Journal*, 849(1), Article 58.
- Erkut, M. H., Ekşi, K. Y., & Alpar, M. A. (2019). Ultra-luminous X-ray sources as super-critical propellers. *The Astrophysical Journal*, 873(2), Article 105.
- Erkut, M. H., Türkoğlu, M. M., Ekşi, K. Y., & Alpar, M. A. (2020). On the magnetic fields, beaming fractions, and fastness parameters of pulsating ultraluminous X-ray sources. *The Astrophysical Journal*, 899(2), Article 97.
- Fürst, F., Walton, D. J., Harrison, F. A., Stern, D., Barret, D., Brightman, M., Fabian, A. C., Grefenstette, B., Madsen, K. K., Middleton, M. J., Miller, J. M., Pottschmidt, K., Ptak, A., Rana, V., & Webb, N. (2016). Discovery of coherent pulsations from the ultraluminous X-ray source NGC 7793 P13. *The Astrophysical Journal Letters*, 831(2), Article L14.
- Israel, G. L., Belfiore, A., Stella, L., Esposito, P., Casella, P., De Luca, A., Marelli, M., Papitto, A., Perri, M., Puccetti, S., Rodríguez Castillo, G. A., Salvetti, D., Tiengo, A., Zampieri, L., D'Agostino, D., Greiner, J., Haberl, F., Novara, G., Salvaterra, R., Turolla, R., Watson, M., Wilms, J., & Wolter, A. (2017). An accreting pulsar with extreme properties drives an ultraluminous X-ray source in NGC 5907. *Science*, 355(6327), 817-819.
- Kaaret, P., Feng, H., & Roberts, T. P. (2017). Ultraluminous X-ray sources. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 55(1), 303-341.
- Middleton, M. J., Brightman, M., Pintore, F., Bachetti, M., Fabian, A. C., Fürst, F., & Walton, D. J. (2019). On the magnetic field in M51 ULX-8. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 486(1), 2-9.
- Paczynski, B. (1992). GB 790305 as a very strongly magnetized neutron star. *Acta Astronomica*, 42, 145-153.
- Rodríguez Castillo, G. A., Israel, G. L., Belfiore, A., Bernardini, F., Esposito, P., Pintore, F., De Luca, A., Papitto, A., Stella, L., Tiengo, A., Zampieri, L., Bachetti, M., Brightman, M., Casella, P., D'Agostino, D., Dall'Osso, S., Earnshaw, H. P., Fürst, F., Haberl, F., Harrison, F. A., Mapelli, M., Marelli, M., Middleton, M. J., Pinto, C., Roberts, T. P., Salvaterra, R., Turolla, R., Walton, D. J., & Wolter, A. (2020). Discovery of a 2.8 s pulsar in a 2 day orbit high-mass X-ray binary powering the ultraluminous X-ray source ULX-7 in M51. *The Astrophysical Journal*, 895(1), Article 60.
- Sathyaprakash, R., Roberts, T. P., Walton, D. J., Fuerst, F., Bachetti, M., Pinto, C., Alston, W. N., Earnshaw, H. P., Fabian, A. C., Middleton, M. J., & Soria, R. (2019). The discovery of weak coherent pulsations in the ultraluminous X-ray source NGC 1313 X-2. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 488(1), L35-L40.
- Shakura, N. I., & Sunyaev, R. A. (1973). Black holes in binary systems. Observational appearance. *Astronomy & Astrophysics*, 24, 337-355.
- Staubert, R., Trümper, J., Kendziorra, E., Klochkov, D., Postnov, K., Kretschmar, P., Pottschmidt, K., Haberl, F., Rothschild, R. E., Santangelo, A., Wilms, J., Kreykenbohm, I., & Fürst, F. (2019). Cyclotron lines in highly magnetized neutron stars. *Astronomy & Astrophysics*, 622, Article A61.
- Türkoğlu, M. M., Özsükan, G., Erkut, M. H., & Ekşi, K. Y. (2017). Constraints on the disc-magnetosphere interaction in accreting pulsar 4U 1626-67. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 471(1), 422-430.
- Wilson-Hodge, C. A., Malacaria, C., Jenke, P. A., Jaisawal, G. K., Kerr, M., Wolff, M. T., Arzoumanian, Z., Chakrabarty, D., Doty, J. P., Gendreau, K. C., Guillot, S., Ho, W. C. G., LaMarr, B., Markwardt, C. B., Özel, F., Prigozhin, G. Y., Ray, P. S., Ramos-Lerate, M., Remillard, R. A., Strohmayer, T. E., Vezie, M. L., Wood, K. S., & NICER Science Team (2018). NICER and Fermi GBM observations of the first galactic ultraluminous X-ray pulsar Swift J0243.6+6124. *The Astrophysical Journal*, 863(1), Article 9.



Türkiye’ de Marmara Bölgesinde Elektronik Sektöründe Faaliyet Gösteren Firmaların Çalışanlarının Dünya Klasmanında Güvenlik Algı Düzeylerinin Ölçülmesi Üzerine Bir Araştırma

Ezgi Tunçer^{1*}, Reşit Erçetin²

^{1*} İstanbul Aydın Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8006-3823), ezgituncer@stu.aydin.edu.tr

^{2*} İstanbul Aydın Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0432-6393), resitercetin@aydin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.931704)

ATIF/REFERENCE: Tunçer, E., Erçetin, R. (2021). Türkiye’ de Marmara Bölgesinde Elektronik Sektöründe Faaliyet Gösteren Firmaların Çalışanlarının Dünya Klasmanında Güvenlik Algı Düzeylerinin Ölçülmesi Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 531-541.

Öz

Sanayinin gelişmesi işe bağlı yaralanma ve kazalardaki, işle ilgili mesleki hastalıklardaki artışı beraberinde getirmiştir. Kazaların sosyal ve ekonomik boyutları devlet, firmalar ve çalışanlar için kaygıya neden olmaktadır. Güvenlik kültürü, liderlik, güvenlik planı ve güvenlik performansı, işyerlerinde yaralanma ve kazaların olmaması amacı ile birtakım fayda sağlayacak uygulamalardan birkaçıdır. Son zamanlarda literatür araştırmaları doğrultusunda bunların doğrudan yada dolaylı olarak işletmelerin Dünya Klasmanında İş Sağlığı ve Güvenliği (DKG) uygulamaları ile ilişkili olduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle, bu çalışmada son zamanlarda literatürdeki çalışmalar üzerinden gidilerek belirlenen anket uygulaması ile Türkiye’de Marmara Bölgesi’nde Elektronik Sektöründe faaliyet gösteren firmaların çalışanlarının Dünya Klasmanında İş Sağlığı ve Güvenliği (DKG) algı seviyesini ölçmeye yönelik bir araştırma hedeflenmektedir. Verilerin analiz edilmesi sonucunda elde edilen bulgular, frekans dağılımı, güvenilirlik analizi, ki kare testi, t-testi, korelasyon ve regresyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dünya Klasmanında İSG, Liderlik, Güvenlik Kültürü, Güvenlik Planı ve Güvenlik Performansı.

A Research on Measuring The World Class Safety Perception Levels of The Employees of Companies Operating in The Electronics Sector in The Marmara Region of Turkey

Abstract

The development of the industry has brought about an increase in work-related injuries and accidents and work-related occupational diseases. The social and economic dimensions of the accidents cause anxiety for the state, companies and employees. Safety culture, leadership, safety plan and safety performance are some of the applications that will provide some benefit in order to avoid injuries and accidents at workplaces. In line with recent literature studies, we can say that these are directly or indirectly related to the World Class Occupational Health and Safety (WCS) practices of businesses. This research measures the level of perception of safety and safety (WCS) of companies operating in the electronic sector located in Marmara region of Turkey by using a survey application determined by going through the literature that identifies the relationship between the WCS success of the safety culture, leadership, safety plan, safety performance. The findings obtained as a result of analyzing the data were evaluated using frequency distribution, reliability analysis, chi-square test, t-test, correlation and regression analysis.

Keywords: World Class Safety, Safety Culture, Leadership, Safety Plan and Safety Performance.

* Sorumlu Yazar: ezgituncer@stu.aydin.edu.tr

1. Giriş

Sanayinin gelişmesi, artan rekabet koşullarında organizasyonların ayakta kalma çabalarının yanında birtakım problemleri de beraberinde getirmiştir. Bu problemlerin, işyerinde işin yürütüm koşullarından kaynaklanan meslek hastalıkları, yaralanma ya da ölümlerle sonuçlanan iş kazalarındaki artışa neden olduğunu söylemek mümkündür (Tufan ve Akın, 2021). Dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir sorunsal olan iş kazalarından kaynaklı çok sayıda kişinin sakat kaldığı ya da hayatını kaybettiği görülmektedir (Olçay ve diğ., 2021a). Gereksosyal, gerekse ekonomik kaygılar nedeniyle devlet, işveren ve çalışanlar için iş kazaları ve yaralanmaların önlenmesi çok büyük önem arz etmektedir. İş kazalarının oluşumunda en önemli unsur kişilerin tehlikeli davranışlarıdır (Sakallı A.E., 2019). Organizasyonlarda işle ilgili meslek hastalıklarının ve iş kazalarının önlenmesinde bir takım iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının yürütülmesi ile pozitif yönde katkılar sağlayabileceği bilinmektedir. Son yıllarda, iş kazalarına sebep olabilecek risklerin tespit edilmesi için sektörel bazda yürütülen çalışmalar önem taşımaktadır (Tufan Ö., 2020). Ayrıca literatürdeki araştırmalarında, çalışanların katılımı ile elde edilen verilerin istatistiksel analizlerinin gerçekleştirilmesi ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Tufan ve Eren, 2019).

Firmalar küresel piyasa koşullarında rekabet edebilmek, işe bağlı yaralanma ve kazaların önlenmesi ve böylelikle performansını iyileştirmek için bir dizi üretim araçlarına ihtiyaç duymaktadır (Jahanzaib M., 2008) (Bozağaç İ., 2010). Bu uygulamalardan biri olan “Dünya Klasmanında Üretim” kavramı ilk olarak 1984’te Hayes ve Wheelwright’in ‘Rekabet Üstünlüğümüzü Geri Yükleme: Üretim Yoluyla Rekabet’ adlı kitaplarında kullanılmıştır (Carlo F.D. and Simioli G.R., 2018) (Bozağaç İ., 2010). Schonberger ‘sadelik dersleri’ başlıklı çalışmasında bu yeni anlayışı ortaya koymuştur (Soloukdar A., 2011). Bu kavram üst yönetimin katılımını içermesinden dolayı yalın üretim, tam zamanında üretim (JIT), altı sigma, toplam kalite yönetimi (TQM) gibi kavramlara göre halen daha büyük avantajlar sunmaktadır (Geçgil E., 2018). Dünya Klasmanında İş Sağlığı ve Güvenliği (DKG) uygulamaları, güvenli çalışma ortamının oluşturulması ve sürekliliğinin sağlanmasına, üretim sürecinde kazayı oluşturan faktörlerin ve tehlikeli olayların azaltılmasına odaklanarak kazasız bir şekilde tamamlanması, kaza nedenlerinin analizlerinin yapılması ve benzer konularda alınabilecek ortak tedbirlerin genişletilmesi, ergonomi analizlerinin yapılarak olası meslek hastalıklarının önüne geçilmesi gibi planlı çalışmalardan oluşmaktadır (Tepekule E.T.,2015)(Ingle S., 1999). İşletme genelinde DKG’in sağlanabilmesi için çalışanların iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerine katılımı, yönetiminde gerekli önlemleri alması ve katkı sağlayacak faaliyetleri desteklemesi gerekmektedir (Çögenli, M.Z ve Özer, M. 2017). Firmaların DKG uygulamaları dışarıdan bağımsız denetim kurumlarından gelen uzmanlar tarafından periyodik olarak denetlenmektedir (Geçgil E., 2018).

Hansen (2005) çalışmasında Amerikan Standart Safety&Healthy ile benzer olarak başarılı bir dünya klasmanında iş sağlığı ve güvenliği için gerekli bileşenleri; Güvenlik Kültürü, Liderlik, Güvenlik Planı ve Güvenlik Performansı olarak dört element üzerinden tanımlamış ve nasıl olması gerektiğini gösteren karakteristik stratejiyi belirlemiştir. (Health & Safety Executive, 2005) (Tepekule E.T.,2015). Güvenlik kültürü’ terimi ilk olarak 1986 yılında Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı’nın (IAEA) Uluslararası Nükleer Güvenlik Grubu (INSAG) (INSAG-

1) tarafından Ukrayna’ daki Çernobil Nükleer Reaktör kazasına ilişkin yapılan araştırmalar ve incelemeler sonucu hazırlanan bir raporda kullanılmıştır (Zopçuk O., 2015) (Kurtulmuş, G., 2019). Güvenlik kültürü, bir kuruluşun sağlık ve güvenlik yönetimine bağlılığı belirleyen bireysel ve grup değerlerinin, tutumlarının, algılarının, yetkinliklerinin ve davranış kalıplarının ürünü olarak tanımlanmaktadır (Cox, S.J., & Cheyne, A.J.T. 2000) (Bergersen C.E.B.,2003). Güvenlik kültürü çalışma alanlarından kaynaklanabilecek kazaların önlenmesi, güvenli çalışma ortamlarının sağlanması için son yıllarda üzerinde önemle durulan bir kavramdır (Dursun S.,2013) (Aytaç S., 2011) (H. Gurbuz ve H. Ibrakovic, 2017). Liderlik kavramı son iki yüz yıldır yaygın kullanım alanı bulmuştur (Yang C.C. et all, 2009) (Uslu V.,2014). Literatürde pek çok liderlik türü tanımlanmış olup, dönüştürücü liderlik üzerine birçok çalışma yürütülmüştür. Birkaç yazar tarafından faydalı olduğu vurgulanmış ve güvenlik sonuçlarındaki değişiklikler gibi olayları açıklamak için kullanılmıştır (Caravello H.E., 2011) (Zia S.A., 2014). Güvenlik planında sıfır kaza amacına hizmet edebilmesi için planda acil durum planlamalarına da gereken önem verilmelidir. Böylelikle, oluşabilecek tehlike ve hasarlar minimize edilerek her türlü karşılaşılabilecek kötü sonuçtan koruma sağlanmış olur (Tepekule E.T.,2015). Güvenlik performansı kuruluşun etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılır (Uslu V.,2014). Güvenlik performansının ölçülmesinde, düşük kaza oranına sahip ve yüksek kaza oranına sahip firmaları karşılaştırma olanağı veren firmaların kaza istatistikleri, çalışanların kendi raporladıkları olay ve kazalar, çalışanların kendi raporladıkları güvenli davranışları, bir yönetici, amir veya düzenleyici tarafından çalışana ait güvenlik performansı oranının belirlenmesi gibi dört farklı ölçüm aracı kullanılmaktadır. Uygun güvenlik performansı yönteminin seçilmesi, uygulanması ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi gerekir (Kol İ., 2016).

Literatürde güvenlik kültürü, liderlik, güvenlik planı/programı ve güvenlik performansı ile bu dörtlünün aralarındaki olası etkinin (güvenlik kültürünün güvenlik davranışını nasıl etkilediği gibi) araştırıldığı çalışmalara rastlanıldığı ancak yeterli yoğunlukta olmadığı görülmektedir (Smith ve Wadsworth, 2007). Bu araştırma konularında çalışmaların sayısı uluslararası literatürde olduğu gibi ülkemizde de gittikçe artmaktadır. Bu alandaki önemli çalışmalardan bazıları Demirbilek’in (2005) tekstil endüstrisinde, Dursun (2011) ve Gürbüz’ün (2017) imalat endüstrisinde, yapmış oldukları araştırmalar oluşmaktadır. Literatürde güvenlik performansı ve güvenlik kültürü ilişkisini ele alan çalışmaların yeterli sayıda olmadığı, bu boyutların birbiri ile ilişkisini anlamada daha çok araştırmanın yapılması gerektiği söylenebilir (Dursun S., 2011) (Gürbüz H., 2017).

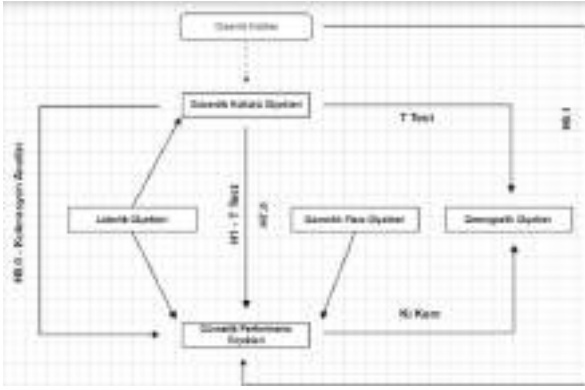
Bu araştırmaların doğrudan ya da dolaylı olarak organizasyonların Dünya Klasmanında İş Sağlığı ve Güvenliği (DKG) uygulamaları ve onun başarısı ile ilişkili olduğunu söylenebilmektedir (Wu, 2008). Wu (2008) çalışmasında güvenlik kültürü, liderliği ve güvenlik performansı arasındaki ilişkiyi belirlemek için genel bir model eksikliği olduğuna dikkati çekerek ve bunların aralarındaki olası ilişkiyi araştırmıştır. Ülkemizde yapılan birçok çalışmada Türkiye’de zayıf bir güvenlik kültürünün olduğu ifade edilmektedir (Olçay ve diğ., 2021b; Temur, 2019). Oluşan meslek hastalıkları ve özellikle yaşanan iş kazalarının azaltılabilmesi adına toplum olarak bilinçlenmek ve güvenlik kültürünün artırılması, pozitif bir güvenlik algısı oluşturmak büyük önem taşımaktadır (Olçay, 2021). Liderlik davranışını destekleyerek, güvenlik kültürünü ve ekip üyelerinin güvenli davranışını etkileyerek, uzun vadede pozitif

güvenlik kültürü oluşturabiliriz (Uslu V.,2014) (Akdeniz B., 2014).

Literatürde verilerin elde edilmesi amacıyla farklı alanlarda farklı organizasyonlarda uygulanmak üzere oluşturulmuş ölçeklerin mevcut olduğu söylenmektedir. Bu çalışmada, güvenlik kültürü, liderlik, güvenlik planı ve güvenlik performansını ölçmek için literatür derlemelerinde elde edilen bir ölçüm kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırmanın Hipotezleri ve Kavramsal Modeli



Şekil 1: Araştırma Hipotezleri ve Kavramsal Modeli

Bu araştırma kapsamında kurulan hipotezler Şekil 1'de görülmektedir. Bunlar;

H1.1: Güvenlik performansı değişkenlerinden çalışanların güvenli davranışları değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

H2.1: Demografik değişkenlerden medeni durum değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkenleri istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

H3.1: Güvenlik kültürü algı düzeyleri cinsiyet değişkeni ele alındığında cinsiyet bakımından çalışanların algı düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

H4.1: Güvenlik kültürü değişkenlerinden yaş grubu boyutu ile her bir güvenlik kültürü değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

H5.1: Demografik değişkenlerden öğrenim seviyesi değişkeninin her bir güvenlik kültürü değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

H6.1: Demografik değişkenlerden işletmedeki konumu değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

H7.1: Çalışma hayatında iş kazasına uğrama ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

H8.1: Mevcut iş yerinde İş kazasına maruz kalanlar ile maruz kalmayanlar arasında istatistiksel olarak 'güvenlik farkındalığı ve yetkinliği, çalışanların katılımı ve kadercilik' boyutlarında anlamlı farklılıklar var mı?

H9.1: Güvenlik kültürü değişkenlerinden güvenlik eğitimi değişkeni ile güvenlik performansı değişkenlerinden güvenli davranış değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

2.2. Araştırma Metodu

2.1.1. Araştırma Kapsamı, Örneklemi ve Veri Toplama Araçları

Bu araştırmanın, Türkiye'de Marmara bölgesinde Elektronik sektöründe faaliyet gösteren firmaların çalışanlarına uygulanması kararlaştırılmıştır. Araştırma örneklemini, sadece beyaz yakalı çalışanlar olarak sınırlandırılmıştır. Basit tesadüfi örnekleme yolu ile seçilen katılımcılara anket uygulanması elektronik posta yoluyla Kasım 2020 tarihinde dağıtılmıştır. Ocak 2021 'e kadar elde edilen veriler üzerinden birtakım istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya 53 kişi katıldığı bilinmektedir. Bunun %79'unu erkek katılımcılar, %21'ini kadın katılımcılar oluşturmaktadır.

2.1.2. Anket Geliştirme

Bu çalışmada, literatür çalışmalarına dayanılarak belirlenen iki bölümden oluşan ölçek verilerin toplanması amacıyla kullanılmıştır. Bunlar; katılımcılara ait demografik değişkenlerin olduğu birinci bölüm ve dünya klasmanındaki güvenlik algısını ölçmeye yönelik ilişkili olduğu saptanan boyutlardan oluşan ikinci bölümdür. Birinci bölüm katılımcıların demografik özelliklerine ilişkin 8 sorudan oluşmaktadır. İkinci bölümde ise; Güvenlik kültürü (Safety Culture Scale: SCS), Liderlik Ölçeği (Safety Leadership Scale: SLS), Güvenlik Planı/Programı (Safety Plan Scale) ve Güvenlik Performansı (Safety Performans Scale: SPS) boyutunu ölçmeye yönelik dört kısım 13 değişkenden oluşan bir ölçek belirlenmiştir. Anket toplam 77 sorudan oluşmaktadır. Bu çalışmada, Kadercilik ve Raporlama Kültürü ölçekleri (hiç katılmıyorum ve tamamen katılıyorum arası değişken) altılı likert ölçek kullanılarak cevaplanacak sorulardan oluşurken, diğer ölçekler (Kesinlikle Katılmıyorum; Kesinlikle Katılıyorum arası) beşli likert ölçek kullanılarak cevaplanacak sorulardan oluşmaktadır. Demografik değişkenler 8 soru Gürbüz'un (2017), Güvenlik Kültürü Ölçeği 41 soru Dursun'un (2011), Liderlik Ölçeği 5 soru Borough'un (2012), Güvenlik Planı Ölçeği 17 soru HSE (1999), Güvenlik Performansı Ölçeği 6 soru Dursun'un (2011) çalışmalarından alınmıştır.

2.1.3. Araştırma Bulguları

Araştırma kapsamında uygulanan anketten toplanan verilerin düzenlenmesinde MS Word, MS Excel (2007) kullanılmıştır. Verilerin IBM tarafından geliştirilen "SPSS- 26.0" istatistik programı kullanılarak derlemeleri yapılmıştır. Modele ilişkin faktörlerin birbirleri ile olan ilişkilerini analiz etmek, birbiri ile ilişkilerininin karşılaştırılmasını yapmak için bir takım istatistiksel analizler kullanılmıştır. Bunlar; verilerin frekanslarının dağılımları, Cronbach's Alpha güvenilirlik analizi, korelasyon, regresyon, ki-kare ve t-testidir (Sayıcı F., ve Öztürk T. 2020). Son bölümde, sonuçlar değerlendirilmiş ve birbirleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

2.2.3.1. Araştırmada Kullanılan Ölçeğin Güvenilirlik Analizi Sonucu ve Tanımlayıcı İstatistikler

Anketi katılımcıya iletmeden önce, anketin güvenilirliğini belirlemek için Cronbach's Alpha güvenilirlik analizi yapılmıştır. Tablo 1 'de çalışmada kullanılan anketin güvenilirlik değerlerini göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre ölçeğin güvenilirliğinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu söylenebilir (0,967>0,7).

Tablo 1: Cronbach Alpha Değerleri

Güvenlilik Analizi Sonuçları			
Cronbach Alfa	Standartlaştırılmış Ögelere Dayalı Cronbach Alfa	N	
0,967	0,971	69	

Araştırmanın birinci bölümünde organizasyondaki çalışanlara Gürbüz'in (2017) yılındaki çalışmasından alıntılanan yaş, cinsiyet, medeni hali, eğitim seviyesi, pozisyonunuz, önceki çalışma yerlerinde veya mevcut işyerinde kazalara/ramak kala durumlarına uğrayıp uğramadığı gibi 8 demografik soru sorulmuştur. Tablo 2 demografik değişkenler bakımından katılımcıların istatistiksel dağılımları görülmektedir.

Araştırmaya katılanların %79'unu erkek katılımcılar, %21'ini kadın katılımcılar oluşturmaktadır. Sektörün büyük kısmını erkek çalışanlar oluşturması sebebiyle bu dağılımdaki oranın gözlemlendiği söylenebilir.

Tablo 2: İş Kazası Geçirme İstatistiklerinin Demografik Değişkenlere Göre Dağılımları

Demografik Değişkenler	Değerler	N
Cinsiyeti	Kadın	11
	Erkek	42
	Toplam	53
Medeni Hali	Evli	38
	Bekar	15
Yaş Aralığı	18-29	8
	30-39	23
	40-49	18
	50-59	4
Eğitim Derecesi	Doktora	2
	Yüksek Lisans	15
	Lisans	20
	Ön Lisans	7
	Lise	9
İşletmedeki Pozisyonu	Müdür	12
	Mühendis	9
	Tekniker	2
	Formen	7
	Diğer	23

Tablo 3 ve Tablo 4'te sırasıyla katılımcıların iş yaşantısı süresince iş kazası geçirme istatistikleri ve çalışılan işyerinde iş kazası geçirme istatistikleri görülmektedir.

Katılımcıların %94' ü iş hayatı süresince iş kazasına uğramadıklarını belirtirken, %6 'sı iş hayatı süresince en az bir kez iş kazasına uğradığını belirtmiştir.

Katılımcıların %98' i mevcut işyerinde iş kazasına uğramadıklarını belirtirken, %2 'si mevcut işyerinde en az bir kez iş kazası geçirdiğini ifade etmiştir.

Tablo 3: İş Yaşantısı Süresince İş Kazası Geçirme İstatistikleri

	Sıklık	Yüzde
Kaza geçiren	3	6
Kaza geçirmeyen	50	94

Tablo 4: Çalışılan İşyerinde İş Kazası Geçirme İstatistikleri

	Sıklık	Yüzde
Kaza geçiren	1	2
Kaza geçirmeyen	52	98

Tablo 4' e göre katılımcıların %2'si daha önce iş kazasına uğradıklarını ifade ederken, %98'i iş kazasına uğramadıklarını belirtmiştir. Mevcut veriler ışığında katılımcıların iş kazasına uğrama oranlarının oldukça düşük olduğu ve bu durumun elektronik sektöründe iş kazası yaşanma riskinin diğer sektörlerle nispeten daha düşük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Demografik değişkenlerden olan cinsiyet değişkenine göre iş kazasına uğrama durumunda değişiklik olup/ olmadığına bakmak için ki- kare testi uygulanmıştır. Tablo 5 'te ki- kare testinin analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 5: Katılımcıların Çalıştıkları İşyerinde Cinsiyetlerine Göre İş Kazası Geçirme İstatistikleri

Erkek	Toplam	2	40	42
	% Cinsiyet	4,8%	95,2%	100,0%
	%İş Kazası	66,7%	80,0%	79,2%
Kadın	Toplam	1	10	11
	% Cinsiyet	9,1%	90,9%	100,0%
	%İş Kazası	33,3%	20,0%	20,8%
Toplam	Toplam	3	50	53
	% Cinsiyet	5,7%	94,3%	100,0%
	%İş Kazası	100,0%	100,0%	100,0%

Pearson Ki-Kare Testi: 0,306; df: 1

Tablo 5'te pearson ki-kare testi analizi ile iş yaşantısı süresince iş kazasına uğrama ile cinsiyet karşılaştırması yapıldığında, erkek veya kadınlar arasında istatistiğe dayalı anlamlı bir ilişki vardır. Bu ilişkinin yaklaşık %31 düzeyinde anlamlı olduğunu söylenmektedir. Tablo 5 'tede belirtildiği gibi, iş kazası geçirenlerin %4,8'inin erkek, %9,1'inin de kadın olduğunu söylenmektedir. Aynı zamanda tablo bize, erkeklerin %66,7'si kadınlarında %33,3' ü iş kazası geçirdiğini göstermektedir.

2.2.3.3. Demografik Değişkenler ve Güvenlik Kültürü Değişkenleri Karşılaştırması

Çalışmada kullanılan demografik değişkenler ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında istatistiksel olarak nasıl bir ilişki söz konusu olduğu bu bölüm altında incelenmeye çalışılmıştır.

Demografik değişkenlerden cinsiyet değişkeni ile güvenlik kültürü değişkenlerinden cinsiyet değişkeni arasında farklılık olup olmadığı Tablo 6' da görülür. Tablo 6 'ya göre, cinsiyet değişkeni ele alındığında kadın çalışanların her bir güvenlik kültürü değişkenleri ortalamalarının daha yüksek olduğu söylenmektedir (kadercilik boyutu hariç). Cinsiyet değişkeni ele alındığında her bir güvenlik kültürü değişkenleri bakımından istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde fark olmadığı söylenebilir (p>0,05).

Demografik değişkenlerden medeni durum değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında farklılık olup olmadığı Tablo 7' de görülmektedir. Tablo 7 'ye göre, medeni durum değişkeni ele alındığında evli çalışanların her bir güvenlik kültürü

değişkenleri ortalamalarının daha yüksek olduğunu söylenebilir (kadercilik boyutu hariç). Medeni durum değişkeni ele alındığında her bir güvenlik kültürü değişkeni aralarındaki bu

farkın istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu söylenebilir ($p>0,05$).

Tablo 6: Güvenlik Kültürü Değişkenlerinin Cinsiyete Göre Karşılaştırması

	Demografik Değişkenlerden Cinsiyet Değişkeni							
	Erkek			Kadın			Testler	
	N	Ortalama	S.S.	N	Ortalama	S.S.	t	(P)
Yönetimin Bağlılığı	42	4,1696	0,91057	11	4,1705	0,43400	-0,003	0,998
Güvenlik Önceliği	42	4,0119	0,81703	11	3,8864	0,30339	0,498	0,621
Güvenlik İletişimi	42	4,0619	0,99018	11	4,2727	0,58837	-0,673	0,504
Güvenlik Eğitimi	42	4,3274	0,80677	11	4,7045	0,45851	-1,482	0,144
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	42	4,5714	0,52744	11	4,7455	0,50668	-0,982	0,331
Çalışanların Katılımı	42	3,8036	0,91654	11	3,8636	0,87581	-0,195	0,846
Kadercilik	42	2,5374	1,05111	11	2,3117	0,55629	0,684	0,497
Raporlama Kültürü	42	4,2083	0,85703	11	4,4545	0,26968	-0,935	0,354

Demografik değişkenlerden eğitim derecesi boyutunun her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında farklılık olup olmadığı Tablo 8’ de görülmektedir. Tablo 8 ‘e göre, eğitim derecesi değişkeni ile güvenlik kültürü değişkenleri aralarında %5 anlamlılık düzeyinde farklılık olmadığı söylenebilir ($p>0,05$).

Demografik değişkenlerden katılımcıların yaş grupları ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında yakınlık Tablo 9 içerisinde görülmektedir. Bu tablodaki veriler doğrultusunda, yaş grupları

değişkeni ele alındığında güvenlik kültürü değişkenleri bakımından istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farkın olduğu söylenebilir ($p>0,05$). Raporlama kültürü ve yaş değişkenleri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu söylenebilir ($p<0,05$). Araştırma verileri ankete katılan 30-39 yaşları arasındaki çalışanların raporlama kültürü algılarının daha yüksek olduğunu göstermiştir. 50 yaş üstü katılımcılar araştırmaya dahil edilmemiştir.

Tablo 7: Güvenlik Kültürü Değişkenlerinin Medeni Durumlara Göre Karşılaştırması

	Medeni Durum							
	Evli			Bekar			Testler	
	N	Ortalama	S.S.	N	Ortalama	S.S.	t	(P)
Yönetimin Bağlılığı	38	4,2730	0,82243	15	3,9083	0,82031	1,455	0,152
Güvenlik Önceliği	38	4,0461	0,77297	15	3,8333	0,64550	0,942	0,350
Güvenlik İletişimi	38	4,1579	0,95426	15	3,9733	0,84470	0,654	0,516
Güvenlik Eğitimi	38	4,4605	0,66151	15	4,2667	0,97955	0,834	0,408
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	38	4,6632	0,50747	15	4,4667	0,55377	1,238	0,221
Çalışanların Katılımı	38	3,8947	0,92931	15	3,6167	0,81759	1,013	0,316
Kadercilik	38	2,4398	1,00049	15	2,6190	0,90458	-0,603	0,549
Raporlama Kültürü	38	4,3224	0,74641	15	4,1000	0,85461	0,938	0,353

Demografik değişkenlerden işletmedeki pozisyonu değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında farklılık olup olmadığı Tablo 10’ da görülmektedir. Tablo 10’a göre, yöneticilik konumunda çalışanların, kadercilik, çalışanların katılımı ve güvenlik önceliği değişkenleri hariç diğer tüm değişkenler bakımından daha yüksek ortalamalara sahip olduğu söylenebilir. Başka bir ifadeyle, yönetimin bağlılığı, iletişimi, eğitimi, raporlama kültürü ve güvenlik yetkinliği ve farkındalığı değişkenleri bakımından yöneticilerin başka seviyede çalışan kişilere oranla daha yüksek algı düzeyine sahip olduğu

söylenebilir. Buna göre, ifade edilen değişkenler bakımından istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farkın olduğu söylenebilir ($p>0,05$). Diğer taraftan, kadercilik, çalışanların katılımı ve güvenlik önceliği değişkenleri açısından baktığımızda ise, çalışanların kadercilik algılarının, yönetici olarak çalışanların kadercilik algılarından daha büyük ortalamalara sahip olduğunu ve aralarında istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde bir ilişki olmadığı söylenebilir ($p<0,05$). Bir diğer ifade ile, çalışanların yönetici konumunda bulunanlara göre iş güvenliği anlamında daha kadereci bir düşünce anlayışına sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 8: Eğitim Seviyeleri ve Güvenlik Kültürü Ölçeklerinin Karşılaştırması

	Eğitim Seviyeleri														
	Lise			Önlisans			Lisans			Y. Lisans			Doktora		
	N	Ort.	S.S.	N	Ort.	S.S.	N	Ort.	S.S.	N	Ort.	S.S.	N	Ort.	S.S.
Yönetimin Bağlılığı	9	4,5139	0,61379	7	3,7679	1,47625	20	4,3438	0,71621	15	3,9500	0,67612	2	3,9375	0,08839
Güvenlik Önceliği	9	4,4167	0,80039	7	3,7500	1,27475	20	4,0250	0,70197	15	3,8833	0,24761	2	3,2500	0,00000
Güvenlik İletişimi	9	4,2444	0,94222	7	3,6571	1,57359	20	4,3300	0,81635	15	3,9467	0,67387	2	4,0000	0,28284
Güvenlik Eğitimi	9	4,4167	0,79057	7	4,5714	0,42608	20	4,5375	0,83617	15	4,2000	0,80844	2	4,0000	0,00000
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	9	4,4667	0,61644	7	4,8286	0,37289	20	4,7400	0,38987	15	4,4000	0,64143	2	4,7000	0,42426
Çalışanların Katılımı	9	4,1667	1,00000	7	3,8929	1,05926	20	3,9375	0,90639	15	3,5167	0,71631	2	3,0000	0,70711
Kadercilik	9	3,1111	1,14459	7	2,7143	1,33248	20	2,3929	0,85322	15	2,1905	0,73771	2	2,1429	0,80812
Raporlama Kültürü	9	3,9444	1,24234	7	4,2143	1,04511	20	4,4375	0,56705	15	4,2500	0,53452	2	4,1250	0,88388

Tablo 9: Güvenlik Kültürü Değişkenlerinin Katılımcıların Yaşlarına Göre Karşılaştırması

	Yaş Grupları										
	18-29			30-39			40-49			F	P
	N	Ort.	S.S.	N	Ort.	S.S.	N	Ort.	S.S.		
Yönetimin Bağlılığı	8	3,7500	0,95665	41	4,2561	0,81679	4	4,1250	0,59512	1,261	0,292
Güvenlik Önceliği	8	3,9688	0,31161	41	3,9512	0,81436	4	4,3750	0,43301	0,592	0,557
Güvenlik İletişimi	8	3,8500	0,76904	41	4,1610	0,96252	4	4,0500	0,85440	0,381	0,685
Güvenlik Eğitimi	8	4,0625	0,92341	41	4,4817	0,71017	4	4,3125	0,94373	1,053	0,356
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	8	4,2750	0,82765	41	4,6829	0,42656	4	4,5000	0,57735	2,226	0,119
Çalışanların Katılımı	8	3,4688	1,02153	41	3,8780	0,87343	4	3,8750	1,03078	0,693	0,505
Kadercilik	8	2,1964	0,72417	41	2,5645	0,92248	4	2,3214	1,83457	0,539	0,587
Raporlama Kültürü	8	3,9688	0,91063	41	4,3963	0,59942	4	3,4375	1,53263	3,808	0,029

Tablo 10. Güvenlik Kültürü Değişkenlerinin Katılımcıların İş Yerindeki Pozisyonlarına Göre Karşılaştırması

	Çalışanların İşteki Konumu							
	Yönetici			Çalışan			Testler	
	N	Ortalama	S.S.	N	Ortalama	S.S.	t	P
Yönetimin Bağlılığı	12	4,3229	0,48400	41	4,1250	0,90743	0,723	0,473
Güvenlik Önceliği	12	3,9792	0,55859	41	3,9878	0,79047	-0,035	0,972
Güvenlik İletişimi	12	4,2500	0,57287	41	4,0634	1,00144	0,614	0,542
Güvenlik Eğitimi	12	4,4792	0,57858	41	4,3841	0,81028	0,378	0,707
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	12	4,7500	0,30896	41	4,5659	0,56728	1,074	0,288
Çalışanların Katılımı	12	3,8125	0,76963	41	3,8171	0,94377	-0,015	0,988
Kadercilik	12	2,2857	1,06557	41	2,5505	0,94467	-0,830	0,410
Raporlama Kültürü	12	4,3333	0,66856	41	4,2378	0,81193	0,372	0,712

2.2.3.4. Güvenlik Kültürü ve Güvenlik Performansı Ölçeklerinin Karşılaştırması

Güvenlik performansı değişkenlerinden çalışma hayatında iş kazasına uğrama değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında farklılık olup olmadığı Tablo 11' de görülmektedir.

Çalışma hayatında iş kazasına uğrayan çalışanların çalışanların katılımı, raporlama kültürü, güvenlik katılımı ve eğitimi ortalamaları iş kazasına uğramayanlardan daha düşük bulunmakla beraber, ifade edilen değişkenler arasında istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir (p>0,05).

Bununla birlikte, işyerinde iş kazası geçirme durumları ve her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında farklılık olup olmadığı Tablo 12’ de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; iş kazasına uğramayan çalışanların her bir güvenlik kültürü değişkenlerinin ortalamaları daha yüksek ortalamalara sahip olduğunu ve aralarındaki bu farklılığın istatistiksel olarak da anlamlı olmadığı söylenebilir ($p>0,05$).

Güvenlik performansı değişkenlerinden biri olan güvenli davranış değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında farklılık olup olmadığı Tablo 13’ de görülmektedir. Bu iki ölçek arasında korelasyon analizi istatistiksel analizi uygulanmıştır.

Tablo 11. Güvenlik Kültürü Değişkenlerinin Katılımcıların İş Yaşantısı Süresince İş Kazası Geçirmelerine göre İstatistikleri

	Çalışma Hayatında İş Kazası							
	Evet			Hayır			Testler	
	N	Ortalama	S.S.	N	Ortalama	S.S.	t	P
Yönetimin Bağlılığı	3	4,3750	0,62500	50	4,1575	0,84471	0,437	0,664
Güvenlik Önceliği	3	4,1667	0,76376	50	3,9750	0,74445	0,433	0,667
Güvenlik İletişimi	3	4,0667	0,83267	50	4,1080	0,93303	-0,075	0,941
Güvenlik Eğitimi	3	4,3333	0,62915	50	4,4100	0,77222	-0,168	0,867
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	3	4,6667	0,57735	50	4,6040	0,52604	0,200	0,843
Çalışanların Katılımı	3	3,5833	1,23322	50	3,8300	0,89134	-0,457	0,649
Kadercilik	3	2,5238	1,08170	50	2,4886	0,97409	0,061	0,952
Raporlama Kültürü	3	4,1667	1,04083	50	4,2650	0,77164	-0,211	0,834

Tablo 12. Güvenlik Kültürü Değişkenlerinin Katılımcıların Çalıştığı İş Yerinde İş Kazası Geçirmelerine Göre İstatistikleri

	İşyerinde İş Kazası							
	Evet			Hayır			Testler	
	N	Ort.	S.S.	N	Ort.	S.S.	t	P
Yönetimin Bağlılığı	1	5,0000		52	4,1538	0,83049	1,009	0,318
Güvenlik Önceliği	1	5,0000		52	3,9663	0,73269	1,397	0,168
Güvenlik İletişimi	1	5,0000		52	4,0885	0,92071	0,981	0,331
Güvenlik Eğitimi	1	5,0000		52	4,3942	0,76271	0,787	0,435
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	1	5,0000		52	4,6000	0,52543	0,754	0,454
Çalışanların Katılımı	1	5,0000		52	3,7933	0,89350	1,338	0,187
Kadercilik	1	3,0000		52	2,4808	0,97591	0,527	0,600
Raporlama Kültürü	1	5,0000		52	4,2452	0,77727	0,962	0,341

Tablo 13. Korelasyon Analizi Sonuçlarına göre Güvenlik Kültürü Değişkenleri ve Güvenli Davranış Değişkeni Karşılaştırması

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yönetimin Bağlılığı	1								
Güvenlik Önceliği	,669**	1							
Güvenlik İletişimi	,813**	,690**	1						
Güvenlik Eğitimi	,645**	,475**	,698**	1					
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	,433**	0,236	,462**	,604**	1				
Çalışanların Katılımı	,668**	,534**	,768**	,605**	,458**	1			
Kadercilik	,311*	0,174	0,148	0,141	0,028	,337*	1		
Raporlama Kültürü	,550**	,302*	,523**	,598**	,537**	,437**	0,225	1	
Güvenli Davranış	,319*	0,124	,348*	,573**	,684**	,448**	0,241	,622**	1

** $p<0,01$ * $p<0,05$

Güvenlik kültürü değişkenlerinin birbirleri ile olan korelasyon analizi sonuçlarına baktığımızda, kadercilik değişkeni ($r=,311$; $p<0,05$) ile zayıf ve pozitif yönlü ilişki görülürken; güvenlik iletişimi değişkeni ($r=,813$; $p<0,01$) ile istatistiksel olarak güçlü ve pozitif yönde anlamlı olduğu söylenebilir.

Yönetimin bağlılığı değişkeni, kadercilik ve güvenlik farkındalığı ve yetkinliği değişkenleri arasındaki bu farklılığın istatistiksel olarak da anlamlı bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$).

Güvenlik önceliği değişkeni, raporlama kültürü değişkeni ($r=,302$; $p<0,05$) ile zayıf ve pozitif yönlü ilişki görülürken; güvenlik iletişimi değişkeni ($r=,690$; $p<0,01$) ile güçlü ve pozitif yönde istatistiksel olarak da anlamlı bulunduğu söylenebilir. Aynı zamanda, güvenlik farkındalığı ve yetkinliği boyutları ile kadercilik boyutları dışındaki boyutlarla güçlü ve pozitif yönde istatistiksel olarak da anlamlı bulunduğu söylenebilir.

Güvenlik iletişimi değişkeni açısından baktığımızda, güvenlik farkındalığı veya yetkinlik değişkeni ($r=,462$; $p<0,01$) ile olumlu yönde zayıf yakınlık görülürken; güvenlik iletişimi değişkeni ($r=,813$; $p<0,01$) ile olumlu yönde güçlü yakınlık görülmektedir. Güvenlik iletişimi ve kadercilik değişkenlerinin arasında istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$).

Güvenlik eğitimi değişkeni, kadercilik dışındaki diğer bütün boyutlarla aralarındaki ilişkinin pozitif yönlü istatistiksel olarak da anlamlı bulunduğu söylenebilir. Güvenlik eğitimi değişkeni, güvenlik önceliği boyutu ($r=,475$; $p<0,01$) ile zayıf yakınlık gösterirken; güvenlik iletişimi boyutu ($r=,698$; $p<0,01$) ile güçlü yakınlık görüldüğü söylenebilir. Kadercilik ve güvenlik iletişimi boyutları aralarında istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$).

Güvenlik farkındalığı ve yetkinlik değişkeninin ise, kadercilik dışındaki diğer her bir değişken ile aralarındaki ilişkinin pozitif yönlü istatistiksel olarak da anlamlı bulunduğu söylenebilir. Güvenlik farkındalığı ve yetkinlik, yönetimin bağlılığı değişkeni ($r=,433$; $p<0,01$) ile zayıf yakınlık gösterirken, güvenlik eğitimi değişkeni ($r=,604$; $p<0,01$) ile güçlü yakınlık göstermektedir. Ayrıca, kadercilik ve güvenlik eğitimi boyutları arasında ise anlamlı bir ilişki bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$).

Çalışanların katılımı değişkeni ile diğer bütün boyutlar aralarındaki farkın pozitif yönlü istatistiksel olarak da anlamlı bulunduğu söylenebilir. Çalışanların katılımı değişkeni, kadercilik boyutu ($r=,337$; $p<0,05$) ile zayıf yakınlık gösterirken, güvenlik iletişimi değişkeni ($r=,768$; $p<0,01$) ile güçlü yakınlık göstermektedir.

Kadercilik değişkeninin, yönetimin bağlılığı ve çalışanların katılımı hariç diğer tüm değişkenlerle ilişkilerinin pozitif yönlü istatistiksel olarak da anlamlı bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$). Ayrıca, kadercilik boyutu ile yönetimin bağlılığı ve çalışanların katılımı arasında zayıf pozitif yönlü anlamlı bir ilişki vardır.

Son olarak raporlama kültürü değişkeni açısından baktığımızda, kadercilik haricindeki bütün boyutlarla ilişkilerinin pozitif yönlü istatistiksel olarak da anlamlı bulunduğu söylenebilir. Ancak bu ilişki, diğer değişkenlerin kendi aralarındaki ilişkilere göre daha zayıftır. Raporlama kültürü, güvenlik önceliği değişkeni ($r=,302$; $p<0,05$) ile zayıf yakınlık gösterirken, güvenlik eğitimi değişkeni $r=,598$; $p<0,01$) ile güçlü yakınlık göstermektedir. Ayrıca, kadercilik ve raporlama kültürü boyutları aralarında istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$).

Güvenlik performansı değişkenlerinden güvenli davranış boyutunun her bir güvenlik kültürü değişkeni ile korelasyon analizi sonuçlarına baktığımızda ise, kadercilik ve güvenlik önceliği dışındaki diğer bütün boyutlarla aralarındaki ilişkinin pozitif yönlü istatistiksel olarak da anlamlı bulunduğu söylenebilir. Güvenli davranış değişkeni, güvenlik farkındalığı ve yetkinlik ($r=,684$; $p<0,01$) ile olumlu yakınlık göstermektedir. Buna göre, çalışanların güvenliğe yönelik farkındalığı ve yetkinlikleri arttıkça, daha fazla güvenli davranış sergilemekte oldukları söylenebilir. Aynı şekilde, çalışanların iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına katılması, raporlamadaki artış, güvenlik iletişimi ve yönetimin bağlılığı boyutlarındaki ilerlemeler güvenli davranış gösterme eğilimlerini arttırmaktadır. Güvenli davranış değişkeni ile kadercilik ve güvenlik önceliği değişkenleri aralarında istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$).

Her bir güvenlik kültürü değişkeninin güvenlik performansı değişkenlerinden güvenli davranış değişkeni ilişkisini incelemek ve birbirleri üzerindeki etkiyi anlamak amacıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizinden elde edilen veriler Tablo 14' de görülmektedir. Gerçekleştirilen F Testi sonucuna göre; modelin 0,01 ($F=10,16$) seviyesinde mantıklı olduğu söylenebilir. Güvenli davranıştaki (bağımlı değişken) değişimin %58'ünün kullanılan bağımsız değişkenler tarafından açıklandığı görülmektedir (Düzeltilmiş $R^2=,585$).

Tablo 14. Regresyon Analizi Sonuçlarına göre Güvenlik Kültürü Değişkenleri ve Güvenli Davranış Değişkeni Karşılaştırılması

Bağımsız Değişken: Güvenlik Kültürü	Bağımlı Değişken: Güvenli Davranış	
	Beta	t
Yönetimin Bağlılığı	1,009	0,318
Güvenlik Önceliği	1,397	0,168
Güvenlik İletişimi	0,981	0,331
Güvenlik Eğitimi	0,787	0,435
Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik	0,754	0,454
Çalışanların Katılımı	1,338	0,187
Kadercilik	0,527	0,600
Raporlama Kültürü	0,962	0,341

$R^2: 0,649$, Düzeltilmiş $R^2: 0,585$, $F: 10,16$, $*p<0,05$; $**p<0,01$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Genel Değerlendirme

Araştırma çerçevesinde öne atılan hipotezlerin sonuçları ve sonuçlara ilişkin değerlendirmeler bu bölümde ele alınacaktır.

H1.1: Güvenlik performansı değişkenlerinden çalışanların güvenli davranışları değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

Güvenlik performansı değişkenlerinden çalışanların güvenli davranışları değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeninin birbirleri aralarındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı bulunduğunu söyleyebiliriz. Güvenli performans değişkenlerinden güvenli davranış değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeninin birbirleri üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu anlamak için korelasyon analizi yapıldı. Gerçekleştirilen istatistiksel analizin neticesinde, kadercilik ve güvenlik önceliği dışındaki diğer bütün boyutlarla pozitif yönde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu söyleyebiliriz.

Güvenlik performansı değişkenlerinden güvenli davranış değişkenini güvenlik kültürü değişkenlerinden güvenlik farkındalığı ve yetkinlik değişkeni ile en fazla etkileşim içinde olan değişkenlerdir ($r=,684$; $p<0,01$). Katılımcıların iş güvenliğine ilişkin bilinçli olmaları, çalıştıkları alanda gördükleri riskleri sorumlulara bildirmek, iş güvenliğine ilişkin çalışmalarını desteklemek gibi iş sağlığı ve güvenliğini destekleyecek çalışmalara katılmaları işlerini yaptıkları esnada güvenli davranış sergilemelerini sağlamaktadır.

H2.1: Demografik veri değişkenlerinden medeni durum değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkenleri istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

Güvenlik kültürü değişkenlerinin demografik değişkenlerden medeni durum değişkeni ile birbirleri üzerindeki etkiye baktığımızda aralarındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı bulunmadığını söyleyebiliriz ($p>0,05$). Kadercilik dışındaki diğer değişkenlerinin ortalamalarının evli olan katılımcıların daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Buna göre, “demografik değişkenlerden medeni durum değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkenlerinin birbirleri arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı bulunduğunu söyleyebiliriz. Dolayısıyla ikinci hipotez reddedilmiştir.

H3.1: Güvenlik kültürü algı düzeyleri cinsiyet değişkeni ele alındığında cinsiyet bakımından çalışanların algı düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

Güvenlik kültürü değişkenlerinin, cinsiyet değişkeni ile ilişkisine baktığımızda, kadın çalışanların güvenlik kültürü değişkenlerine göre ortalamaları, kadercilik değişkeni hariç diğer her bir boyutta erkek işçilere göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Buna göre, ele alınan güvenlik kültürü değişkenleri açısından kadın ve erkek değişkenleri baz alındığında aralarında istatistiksel olarak farklılıklar olmadığı söylenebilir ($p>0,05$). Buna göre, güvenlik kültürü değişkenleri içerisinde yer alan her bir boyut açısından üçüncü hipotez reddedilmiştir.

H4.1: Güvenlik kültürü değişkenlerinden yaş grubu boyutu ile her bir güvenlik kültürü değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

Buna göre, ele alınan güvenlik kültürü değişkenleri ile (raporlama kültürü değişkeni hariç) yaş aralığı değişkenleri aralarında istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$). Raporlama kültürü ile yaş aralığı değişkenlerinin birbirleri aralarında istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p<0,05$). 30-39 yaşları aralığında bulunanlar fazla raporlama kültürüne sahiptir.

H5.1: Demografik değişkenlerden öğrenim seviyesi değişkeninin her bir güvenlik kültürü değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

Çalışanların öğrenim seviyesi değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkenlerinin birbirleri arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$). Dolayısıyla beşinci hipotez bütün boyut değişkenleri açısından reddedilmiştir.

H6.1: Demografik değişkenlerden işletmedeki konumu değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

Çalışanların işteki konumlarına göre güvenlik kültürü değişkenleri ortalamalarını göstermektedir. Buna göre, yöneticilik konumunda çalışanların, raporlama kültürü, yönetimin bağlılığı, güvenlik farkındalığı yetkinliği ve güvenlik iletişimi ve eğitimi düzeylerinin, diğer düzeydeki çalışan katılımcıların algılarından fazla olması dikkati çekmektedir. Diğer taraftan, kadercilik, çalışanların katılımı ve güvenlik önceliği değişkenleri açısından

baktığımızda ise, çalışanların tüm bu boyutlardaki algılarının, yönetici olarak çalışanların algılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada, katılımcıların işletmedeki pozisyonuna göre bütün boyutlar için istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde farklılıklar bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$). Dolayısıyla altıncı hipotez reddedilmiştir.

H7.1: Çalışma hayatında iş kazasına uğrama ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

Çalışma yaşamında iş kazası geçiren çalışanların raporlama kültürü, çalışanların katılımı, güvenlik iletişimi ve eğitimi ortalamaları, maruz kalmayan çalışanlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada güvenlik kültürü boyutları ile iş yaşantısında iş kazasına uğrama değişkenlerinin birbirleri üzerindeki etkisine bakıldığında aralarında %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$). Bu bulgular ışığında, çalışmada ileri sürülen yedinci hipotez bütün boyut değişkenleri açısından reddedilmiştir.

H8.1: Mevcut iş yerinde İş kazasına maruz kalanlar ile maruz kalmayanlar arasında istatistiksel olarak ‘güvenlik farkındalığı ve yetkinliği, çalışanların katılımı ve kadercilik’ boyutlarında anlamlı farklılıklar var mı?

Mevcut iş yerinde kazaya uğrayan katılımcıların ortalamaları iş kazasına uğramayan çalışanların ortalamalarından; çalışanların katılımı, kadercilik, raporlama kültürü, yönetimin bağlılığı, güvenlik iletişimi, güvenlik önceliği ve güvenlik eğitimi değişkenleri daha yüksektir. Ölçek verilerine göre, iş kazasına maruz kalma ile her bir güvenlik kültürü boyutu bakımından aralarında %5 anlamlılık düzeyinde farklılık bulunmadığı söylenebilir ($p>0,05$). Bu bulgular ışığında, çalışmada ileri sürülen sekizinci hipotez bütün boyut değişkenleri açısından reddedilmiştir.

H9.1: Güvenlik kültürü değişkenlerinden güvenlik eğitimi değişkeni ile güvenlik performansı değişkenlerinden güvenli davranış değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var mı?

Güvenlik kültürü ve güvenlik performansı değişkenlerinin birbirleri üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu anlamak için korelasyon analizi yapılmıştır. Güvenlik eğitimi değişkeni ile güvenli davranış değişkeninin birbirleri arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı bulunduğu söylenebilir. Güvenlik eğitimindeki olumlu artışlar, çalışanların güvenli davranış gösterme eğilimlerini arttırmaktadır. Dolayısıyla dokuzuncu hipotez kabul edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırma kapsamında, literatür çalışmalarından edinilen çıkarımlar doğrultusunda belirlenen anket veri toplama aracı olarak kullanılmıştır. Araştırmanın Türkiye’de Marmara bölgesinde Elektrik ve Elektronik üretim endüstrisinde çalışan beyaz yakalı çalışanlara uygulanmasına karar verilmiştir. Araştırmada kullanılan ölçeklerden elde edilen verilerin istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, firmaların Dünya Klasmanında Üretim pillar’ından olan Dünya Klasmanında İş Sağlığı ve Güvenliği seviyeleri; güvenlik kültürü, liderlik, güvenlik planı ve güvenlik performansı ve bunların bir fonksiyonu olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Verilerin analiz sonuçları üzerinden, güvenlik kültürüne, liderliğine, güvenlik planı üzerinde etkiye sahip olan boyutlar saptanarak güvenlik performansı üzerindeki etkisi hesaplanmaya çalışılmıştır.

Bu konular üzerinde yürütülen çalışmalardan elde edilen çıkarımlar doğrultusunda, güvenlik kültürü son zamanlarda iş

kazalarını önlemede kullanılan önemli bir kavramdır. Bu kavram, sağlık ve güvenlik unsurlarının öncelikli olarak değerlendirildiği çalışma ortamları oluşturulması hususunda büyük bir öneme sahip olduğu bilinmektedir. Bu hususta yöneticilere birtakım sorumluluklar düşmektedir. Bunlar, çalışma ortamının güvenli hale getirilmesine, organizasyonda çalışanların güvenlik kültürü algı düzeylerini pozitif yönde oluşturmaya katkıda bulunmak ve bu anlamda her faaliyeti destekleyici davranışlarda bulunmak ve DKG algı düzeylerini iyileştirici uygulamaları teşvik etmektir.

Araştırma bulguları, güvenlik performansı değişkenleri ile her bir güvenlik kültürü değişkeni bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu söylenebilir. Aynı zamanda, demografik değişkenler ile her bir güvenlik kültürü değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanmıştır.

Bu çalışmada birtakım sınırlar konulmuştur. Bu çalışmada, güvenlik performansı değişkenlerinden olan güvenli davranış değişkeni ile her bir güvenlik kültürü değişkenleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu alanda yürütülen başka çalışmaların sonuçlarından yola çıkarak, güvenli davranış boyutunu etkileyen başka değişkenlerin de olduğu söylenebilir. Bu çalışma, bundan sonraki yürütülecek araştırmaların güvenlik kültürü dışındaki güvenlik planı ve liderlik gibi diğer değişkenlerle güvenlik performansı değişkenlerinden güvenli davranış değişkeni arasındaki ilişkiyi anlamaya yönelik çalışmaların olmasına gereksinim duyulduğunu göstermektedir. Önümüzdeki süreçte, her bir organizasyondaki ayrılıkları gözler önüne sermek için, farklı sektörlerde belirli periyotlarda tekrar edecek araştırmaların gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmakta olduğu söylenebilir. Böylece, belirli bir süreç sonrasında gözlenen değişim konusunda fikir sahibi olunabilir.

5. Teşekkür

Bu araştırmaya katılmayı kabul eden firmalara ve araştırma kapsamında uygulanan ölçeklere yanıt vererek katkı sağlayan firma çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- Aytaç, S. (2011), "İş kazalarını önlemede güvenlik kültürünün önemi", *Türk Metal Dergisi*, Sayı:147-148, ss.30-33 / ss.36-39.
- Bergersen C. (2003). Tool To Be Used To Survey and Improve Safety Culture In The European Railway Industry. Faculty of Social Sciences and Technology Management, Department of industrial Economics and Technology Management, NTNU, Trondheim, Norway (Collaboration with SINTEF).
- Boroughf B.J. (2012). An Examination Of The Relationship Between Transformational Leadership Tendencies And Safety Outcomes In Selected Manufacturing Settings. Indiana State University, College of Technology, Terre Haute, Indiana.
- Bozağaç İ. (2010). World Class Manufacturing on Automobile Industry and Applications of Autonomous Maintenance in Press Shop. Çukurova Üniversitesi, Department Of Mechanical Engineering, Adana.
- Büyüköztürk, Ş. (2018). Sosyal Bilimler için Veri Analizi El Kitabı. Pegem Akademi, Ankara.
- Caravello, H. E. (2011). The role of leadership in safety performance and results (Doctoral dissertation). Available from Proquest Dissertations and Theses database. (UMI 3444344)

- Carlo F.D. and Simioli G.R. (2018). Lean Production and World Class Manufacturing: A Comparative Study of the Two Most Important Production Strategies of Recent Times. University of Florence, Department of Industrial Engineering, Filippo De Carlo, Italy.
- Cox, S.J., & Cheyne, A.J.T. (2000). Assessing Safety Culture in Offshore Environments. *Safety Science Journal*, 34, 111-129.
- Çögenli, M.Z ve Özer, M. (2017). İş kazalarını önlemede güvenlik kültürü. 2nd International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS), 19-22.
- Cuevas, A. ve Febrero, M. ve Fraiman, R. (2004). Fonksiyonel Veriler İçin Bir Anova Testi. *Hesaplamalı İstatistikler ve Veri Analizi*, 111-122.
- Dursun S. (2011). Güvenlik Kültürünün Güvenlik Performansı Üzerine Etkisine Yönelik Bir Uygulama. Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çalışma Ekonomisi Ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı Yönetim Ve Çalışma Psikolojisi Bilim Dalı, Doktora Tezi, Bursa.
- Dursun S. (2013). İş Güvenliği Kültürünün Çalışanların Güvenli Davranışları Üzerine Etkisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Bölümü, Trabzon.
- Geçgil E. (2018). Dünya Sınıfında İmalat Kavramı ve bir Lojistik Uygulaması. Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Yöneylem Bilim Dalı, Doktora Tezi, Bursa.
- Gürbüz H. and İbrakoviç H. (2017). İşletmelerde İş Güvenliği, Güvenlik Performansı ve İş Güvenliği Kültürü. *The journal of Social Science*, 4, 11, 442-469.
- Kim, T.K. (2015). Parametrik İstatistik Olarak T Testi. *Kore Anesteziyoloji Dergisi*, 540-546.
- McHugh, M.L. (2013). Ki-Kare Bağımsızlık Testi. *Biochemia Medica*.
- Pallant, J. (2017). SPSS Kullanma Kılavuzu: SPSS ile Adım Adım Veri Analizi. Anı Yayıncılık, Ankara.
- Seyedhosseini M.S. and Soloukdar A. (2011). Recognition Dynamic Model of World Class Manufacturing in Iranian Automotive Industry. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5, 9, 182-189.
- Ingle S. (1999). World Class Manufacturing: Implementation and Measurement in the Irish Automotive Rubber Mouldings Component Industry. Dublin City University Business School, PhD Thesis.
- Kol İ. (2016). İş Sağlığı Ve Güvenliğinde Operasyonel Disiplin. Gedik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İş Sağlığı Ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı, Master Tezi, İstanbul.
- Kurtulmuş, G. (2019). Comparison of Safety Culture Perceptions of University Student Groups. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural And Applied Sciences, Master Thesis, Middle East Technical University.
- Olçay, Z. (2021). İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeği; Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23) , 678-685
- Olçay Z.F., Temur S., ve Sakalli A.E. (2021a). A research on the knowledge level and safety culture of students taking occupational health and safety course. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 16, 1, 187-200.
- Olçay Z.F., Temur S., Sakalli A.E. ve Yazici A. (2021b). A study on the shift in fatal construction workrelated accidents during the years 2012–2019 in Turkey. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, pp.1-11.
- Öztürk T. (2020). Giyim Eşyası İmalat Sektöründe Meydana Gelen İş Kazası ve Meslek Hastalığı ile Sonrasındaki İyileşme Durumunun Cinsiyet Bakımından

- Değerlendirilmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8, 3 3424-3443.
- Öztürk T. ve Eren Ö. (2019). Yaralanmalı İş Kazalarının En Fazla Meydana Geldiği İlk Otuz Sektörün Entropi Tabanlı Sıralama Tekniği İle Ayrıntılı İncelenmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7 1 153-171.
- Öztürk T. ve Akın G. (2021). Türkiye’de Tüm Sektörlere Ait 2018 Yılı İş Kazalarının ve Kaza Sonucu Yaşam Kaybının Kazazede Yaşı Bakımından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22, 410-415.
- Jahanzaib M. (2008). Coping with Medium Volume- Low Variety Manufacturing Environment in Automobile Industry of Pakistan. University of Enginnering and Technology, Department of Mechanical Engineering. Faculty of Mechanical &Aeronautical Engineering, Taxila, Pakistan.
- Sakallı, A. E. (2019). A Tipi Ve B Tipi Kişilik Özelliğine Sahip Bireylerde İş Doyumu Ve Kazalanma Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Ohs Academy*, 2(1), 11-31.
- Sayıcı F., & Öztürk T. (2020). Türkiye’de 2019’da Gösterime Girmiş Filmlerin Sosyal Gerekliklik Ve Sektör Ekonomisi Bakımından İncelenmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8, 5, 4413-4437.
- Temur, S. (2019). Türkiye Ve Çekya Arasındaki Güvenlik Kültürüne Bakış Açısı Üzerine İrdeleme. *Ohs Academy*, 2(2), 67-76.
- Tepekule E.T. (2015). Dünya Klasmanında Üretim Kapsamında İş Sağlığı Ve Güvenliği Çalışmalarına Yönelik Bir Model Önerisi Ve Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilimdalı, İşletme Programı, İzmir.
- Zopçuk O. (2015). İşletmelerde Güvenlik Kültürünün Ölçümü: Küçük Ve Büyük Ölçekli Tekstil Ve Metal İşyerleri Uygulaması. Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı Ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara.



Logaritma Fonksiyonunun İrrasyonel Fonksiyon İle Temsili ve Bu Temsile Dayalı Üstel Fonksiyon Elde Edilmesi Üzerine

Müslüm Özışık^{1*}

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6143-5380), ozisik@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 30 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.930694)

ATIF/REFERENCE: Özışık, M., (2021). Logaritma Fonksiyonunun İrrasyonel Fonksiyon İle Temsili ve Bu Temsile Dayalı Üstel Fonksiyon Oluşturulması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 542-549.

Öz

Bu çalışmada matematikte çok yaygın bir kullanım alanına sahip olan en temel fonksiyonlardan olan logaritma fonksiyonunun irrasyonel bir fonksiyon ile temsil edilmesi üzerine çalışılmıştır. Bu amaçla logaritma fonksiyonu yerine kullanılabilir irrasyonel bir fonksiyon önerisi yapılmış, uygun matematik ve nümerik analiz tanım ve yöntemleri çerçevesinde önerilen fonksiyon elde edilmiştir. Elde edilen irrasyonel fonksiyon üzerinden ters fonksiyonu oluşturulmak suretiyle üstel fonksiyonlar için yeni bir yaklaşım elde edilmiştir. Sayısal sonuçlar ve grafikler elde edilerek gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Logaritma, Doğal Logaritma, Napier, Euler.

On the Representation of the Logarithm Function by the Irrational Function and the Obtaining of an Exponential Function Based on This Representation

Abstract

In this study, the representation of the logarithm function, which is one of the most basic functions that has a very common usage area in mathematics, has been studied with an irrational function. For this purpose, an irrational function that can be used instead of a logarithm function has been proposed, and the proposed function has been obtained within the framework of appropriate mathematical and numerical analysis definitions and methods. A new approach has been obtained for exponential functions by constructing the inverse function on the obtained irrational function. Necessary evaluations were made by obtaining numerical results and graphics.

Keywords: Logarithm, Natural Logarithm, Napier, Euler.

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye ozisik@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Logaritma fonksiyonu matematik ve bilimin en temel ve vazgeçilmez fonksiyonlarından biridir. Logaritma hesabının temelini teşkil eden üslü sayıların logaritmasını ilk tanımlayan Michael Stifel (1487-1567) olmuş aynı zamanda 2 sayısının kuvvetlerini incelemiştir. Ancak farklı birçok taban kullanmak suretiyle logaritmayı gerçek anlamda kullanan John Napier (1550-1617) olmuştur. Napier'in logaritma ile olan çalışmaları genel olarak cebire dayanmaktaydı ve logaritma ile ilgili ilk çalışmasını 1614 yılında "A Description of the Wonderful Table of Logarithms (Harika Logaritma Tablosunun bir Açıklaması)" adı altında yayınladı. Napier bu çalışmasında Yunanca "logos" ve "arithmo" kelimelerini sayılar ve logaritmalarını ifade etmek üzere bir arada "logaritma" olarak kullanmış, logaritmayı da "doğal" ve "yapay" olarak isimlendirmiştir. (Günümüzde $y = \text{Ln}_e x$ doğal logaritma ifadesi aynı zamanda Napier logaritması olarak da bilinmektedir.) Aynı dönemde Henry Briggs (1551-1630) ve Joost Burgi (1552-1632) de üstel işlemlerle uğraşmış olan matematikçiler arasındadır. Ancak Burgi'nin logaritma ile ilgili çalışmaları Napier'den farklı olarak cebire değil geometriye dayanmaktaydı. Günümüzde kullanılan logaritma ise bilime Leonhard Euler (1707-1783) tarafından kazandırılmıştır. Napier logaritmasında da kullanılan "e sabitinin" ilk defa 1727 yılında ifade edilmesi, 1737 yılında e sayısının irrasyonel olduğunun gösterilmesi, 1748 yılında da virgülden sonraki ilk 18 basamağının hesaplanması Euler tarafından logaritma hesabına ilişkin yapılmış çalışmalardan bazıları olup (Boyer 1991; Havil, 2003; Kathleen ve Montelle, 2011; Bruce, 2000; Fauvel, 2000; Rice ve ark., 2017) kaynaklarında yer almaktadırlar.

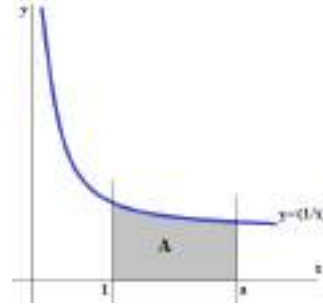
Gerek doğal logaritma gerekse logaritma fonksiyonu matematik ve mühendislik alanında temsil edilen birçok problemin içerisindeki yaygın kullanımına bağlı olarak her daim geniş bir ilgi alanına sahip olmuştur. Doğal logaritmanın Gaussian Hipergeometrik Fonksiyonlarla temsil edilmesi (Nofal, 2006), logaritmanın interpolasyon ile hesaplanması (Gautschi, 2008), q-logaritması için irrasyonel ölçüleme teknikleri üzerinde yapılan çalışmalar (Matala-Aho ve ark., 2005; Koelink ve Assche, 2009), logaritmik diferansiyel formlar, rezüdüler ve vektör alanları ile ilgili (Aleksandrov, 2014; Pol, 2018; Tajima ve Nabeshima, 2021) çalışmaları örnek olarak gösterilebilir. Doğal olarak diğer mühendislik alanlarından farklı olarak matematiğin temelini oluşturan bazı klasik kavram ve konularda çoğu zaman kısa zaman dilimleri içerisinde köklü bir tanım, anlam değişikliği olmaz. Daha ziyade uygulama alanları ve tekniklere ilişkin genişlemeler, yorumlar ve yöntemlere dair farklılıklar söz konusu olur. Bu yönüyle logaritma ve üstel işlemler bu alanlardan biridir.

Bu çalışmada, yukarıda kısaca özetlenen, matematik, mühendislik ve bilimin en temel kavram ve fonksiyonlarından olan logaritma ve üstel fonksiyona dair çalışma yapılmıştır. Logaritma fonksiyonunun irrasyonel fonksiyon ile temsiline ilişkin olarak fonksiyon önerisinde bulunulmuş, önerilen fonksiyon tanımlanmış, daha sonra bu fonksiyon uygun matematiksel ve nümerik yöntemler ile elde edilerek logaritma fonksiyonunun irrasyonel fonksiyon ile temsil edilebileceği sayısal ve grafiksel sonuçlarla gösterilmiştir. Sonrasında elde edilen fonksiyona bağlı olarak ters fonksiyonu elde edilmek suretiyle üstel işlemler için de kullanılacak üstel fonksiyon ifade edilmiş ve grafiksel olarak matematikte mevcut durumda kullanılan üstel fonksiyon ile karşılaştırılmıştır.

2. Fonksiyonun Tanımlanması ve Çözüm

2.1. Logaritma fonksiyonunun tanımı

Matematikte doğal logaritma fonksiyonu genel olarak;



Şekil 1. Logaritmanın bir eğrinin altındaki alan olarak ifadesi

şekildeki gibi $y = (1/x)$ eğrinin altında ve $(y \geq 0, 1 \leq x \leq a)$ ile sınırlı olan düzlemsel bölgenin alanı olarak

$$A = \int_1^a \left(\frac{1}{x}\right) dx$$

$$A = \text{Ln } x \Big|_{x=1}^a \quad (1)$$

$$A = \text{Ln } a$$

şeklinde ifade edilir. Dolayısıyla doğal logaritma fonksiyonunun genel ifadesi

$0 \leq x < \infty$; $e \cong 2,718281\dots$ olmak üzere,

$$y = f(x) = \text{Ln}_e x = \text{Ln } x \quad (2)$$

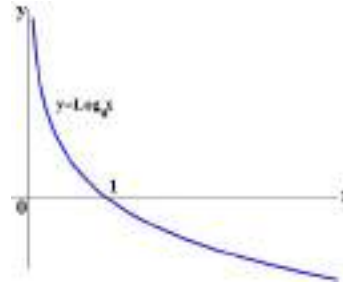
olarak verilir.

Doğal logaritma fonksiyonuna benzer olarak logaritma fonksiyonu ise genel olarak bütün matematik kitaplarında;

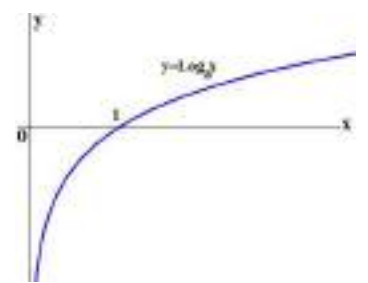
$\forall a, x > 0$ ve $a \neq 1$ (a : logaritma tabanı) olmak üzere;

$$y = f(x) = \text{Log}_a x \quad (3)$$

olarak tanımlanmış olup grafikleri aşağıdaki gibidir. (Kreyszig, 1993; Andrews ve ark., 1999; Thomas ve ark. 2010).



Şekil 2. $x > 0, 0 < a < 1$ için $\text{Log}_a x$ grafiği



Şekil 3. $x > 0, a > 1$ için $\text{Log}_a x$ grafiği

2.1.1. İrrasyonel fonksiyon önerilmesi ve elde edilmesi

Logaritma fonksiyonunun Şekil 2. ve Şekil 3. ile verilen genel grafikleri dikkate alındığında bu eğrilerin benzer irrasyonel

eğrilerle temsil edilebileceği (genel anlamda $\sqrt[p]{x} - 1$, $x > 0$, $q \in \mathbb{Z}^+$ formunda) fikri hareket noktasının temelini oluşturmuştur.

Dolayısıyla;

$S\text{Log}_a x$ fonksiyonu, $y = f(x) = \text{Log}_a x$ fonksiyonun temsili için önerilen irrasyonel fonksiyon olmak üzere bu fonksiyon,

$$y = S\text{Log}_a x = \left[\sqrt[p]{x} - 1 \right] \cdot K_a = f_a(x) \quad (4)$$

olarak verilmiş olsun. Burada;

$a > 0$, $a \neq 1$ olmak üzere logaritma tabanını, $x > 0$ olarak logaritması alınacak olan sayıyı, $p = 2^n$, $n \in \mathbb{Z}^+$ olmak üzere kök derecesini, K_a ise logaritma tabanına (a 'ya) bağlı bir reel sayıyı ifade etmektedir. (4) ile önerilen irrasyonel fonksiyondaki $\left[\sqrt[p]{x} - 1 \right]$ ifadesi logaritma fonksiyonu için $\forall a > 0$, $a \neq 1$ için $S\text{Log}_a x|_{x=1} = f_a(x)|_{x=1} = 0$ koşulunu sağlaması içindir. (4) ile önerilmiş olan irrasyonel fonksiyon logaritma fonksiyonunun temsili için önerilmiş olduğundan;

$$y = \text{Log}_a x \cong \left[\sqrt[p]{x} - 1 \right] \cdot K_a = f_a(x) \quad (5)$$

olarak yazabiliriz.

$\text{Log}_a x$ fonksiyonunun tanımı gereği $\forall a, x > 0$, $a \neq 1$, ve $c > 0$, $c \neq 1$ olmak üzere (5) ifadesinden;

$$\begin{aligned} \text{Log}_a x &\cong \left[\sqrt[p]{x} - 1 \right] \cdot K_a = f_a(x) \\ \text{Log}_c x &\cong \left[\sqrt[p]{x} - 1 \right] \cdot K_c = f_c(x) \\ \text{Log}_c a &\cong \left[\sqrt[p]{a} - 1 \right] \cdot K_c = f_c(a) \end{aligned} \quad (6)$$

olarak yazılın.

$\text{Log}_a x$ logaritma fonksiyonu için bilinen taban değiştirme özelliği ve (6) eşitlikleri de kullanılmak suretiyle;

$$\begin{aligned} \text{Log}_a x &= \frac{\text{Log}_c x}{\text{Log}_c a} \\ &= \frac{f_c(x)}{f_c(a)} \end{aligned}$$

olarak yazılabilir. (6) ifade ile;

$$f_c(x) = \left[\sqrt[p]{x} - 1 \right] \cdot K_c$$

ve

$$f_c(a) = \left[\sqrt[p]{a} - 1 \right] \cdot K_c$$

olarak verildiğinden;

$$\text{Log}_a x = \frac{f_c(x)}{f_c(a)} = \frac{\left[\sqrt[p]{x} - 1 \right] \cdot K_c}{\left[\sqrt[p]{a} - 1 \right] \cdot K_c}$$

$$\text{Log}_a x = \frac{\left[\sqrt[p]{x} - 1 \right] \cdot K_c}{\left[\sqrt[p]{a} - 1 \right] \cdot K_c}$$

$$\text{Log}_a x = \frac{\left[\sqrt[p]{x} - 1 \right]}{\left[\sqrt[p]{a} - 1 \right]}$$

$$\text{Log}_a x = \frac{\sqrt[p]{x} - 1}{\sqrt[p]{a} - 1} \quad (7)$$

olarak bulunur. (5) ve (7) ifadeleri birlikte dikkate alınırsa K_a reel sayısı;

$$\left[\sqrt[p]{x} - 1 \right] \cdot K_a = \frac{\sqrt[p]{x} - 1}{\sqrt[p]{a} - 1} \quad (8)$$

$$K_a = \frac{1}{\sqrt[p]{a} - 1} \quad (9)$$

olarak bulunur. ($K_a \in \mathbb{R}$; ($a > 0$, $a \neq 1$, $p = 2^n$, $n \in \mathbb{Z}^+$))

Dolayısıyla (4) ile önerilmiş olan irrasyonel fonksiyon;

$$S\text{Log}_a x = \frac{\sqrt[p]{x} - 1}{\sqrt[p]{a} - 1} \quad (10)$$

olarak yazılabilecektir. ($\forall a, x > 0$, $a \neq 1$, $p = 2^n$, $n \in \mathbb{Z}^+$)

Bu durumda geriye (10) ifadesindeki $p = 2^n$, $n \in \mathbb{Z}^+$ kök derecesinin belirlenmesi kalmaktadır. (4) ifadesiyle önerilen irrasyonel fonksiyon logaritma fonksiyonu yerine önerilmiş olduğundan $\forall a, x > 0$, $a \neq 1$ olmak üzere,

$$\text{Log}_a x \cong S\text{Log}_a x \quad (11)$$

ifadesinin gerçekleşmesi gerekir. Bir başka deyişle

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow n} |\text{Log}_a x - S\text{Log}_a x| \\ \lim_{k \rightarrow n} \left| \text{Log}_a x - \frac{\sqrt[k]{x} - 1}{\sqrt[k]{a} - 1} \right| \end{aligned} \quad (12)$$

ifadesinin limit değerinin sıfıra yaklaşması yani;

$$\lim_{k \rightarrow n} \left| \text{Log}_a x - \frac{\sqrt[k]{x} - 1}{\sqrt[k]{a} - 1} \right| \rightarrow 0 \quad (13)$$

olması gerekir.

Söz konusu limit işlemi için uygun algoritma ve nümerik yöntemler uygulandığında değişik $n \in \mathbb{Z}^+$ değerleri için (13) ifadesinin limit değerinin sıfır olduğu görülecektir. (4) ile önerilmiş olan $S\text{Log}_a x$ irrasyonel fonksiyonun $\text{Log}_a x$ fonksiyonu için temsili noktasında bir çalışma hedeflendiğinden $|\text{Log}_a x - S\text{Log}_a x|$ farkının olabildiğince en büyük hassasiyette sıfıra eşit olması elde edilen sonucun geçerliliği noktasında önem taşımaktadır. Bu nedenle n için elde edilen sayısal sonuçların elde

edilmesi aşamasında $|\text{Log}_a x - \text{SLog}_a x| < 10^{-7}$ olacak şekilde algoritma kurulmuş olup (13) ifadesindeki kök derecesine ilişkin olarak,

$$n = 30 \quad ; \quad p = 2^{30} \quad (14)$$

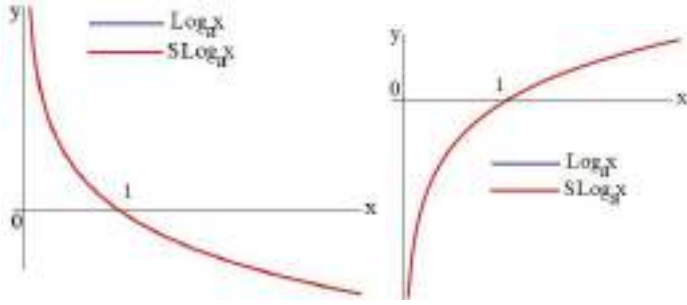
olarak bulunmuştur.

Böylece $\text{Log}_a x$ logaritma fonksiyonunun yerine (4) ile önerilen irrasyonel $\text{SLog}_a x$ fonksiyonu

$$\text{SLog}_a x = \frac{{}^{2^{30}}\sqrt{x} - 1}{{}^{2^{30}}\sqrt{a} - 1} \quad (15)$$

olarak yazılmış olmaktadır. ($\forall a, x > 0, a \neq 1$)

$\text{Log}_a x$ logaritma fonksiyonunun irrasyonel temsili için önerilen ve (15) ile elde edilen $\text{SLog}_a x$ irrasyonel fonksiyonunun grafiği ile $\text{Log}_a x$ logaritma fonksiyonunun grafiği Şekil 4. ve Şekil 5. ile birlikte verilmiştir.



Şekil 4. $x > 0, 0 < a < 1$ için $\text{Log}_a x$ ve $\text{SLog}_a x$ grafikleri Şekil 5. $x > 0, a > 1$ için $\text{Log}_a x$ ve $\text{SLog}_a x$ grafikleri

Şekil 4. ve Şekil 5. ile verilen grafiklerden görüleceği üzere irrasyonel $\text{SLog}_a x$ fonksiyonu ile $\text{Log}_a x$ fonksiyonu örtüşmekte, $x > 0$ için türevli ve sürekli olduğu görülmektedir.

2.1.2. Üstel fonksiyonun elde edilmesi

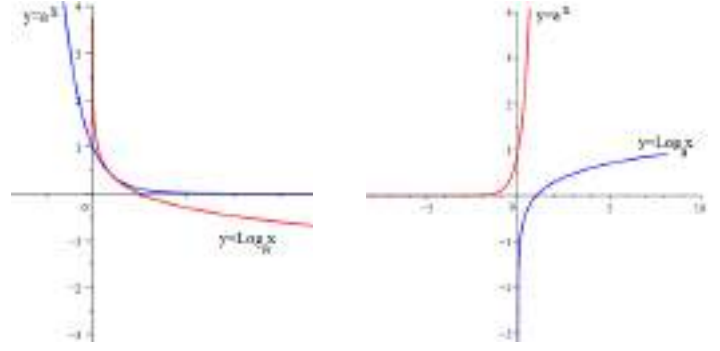
Matematikte üstel fonksiyon genel olarak logaritma fonksiyonun ters fonksiyonu olarak ifade edilmekte ve $\text{Log}_a x$ fonksiyonu için üstel fonksiyon ise;

$$a \in \mathbb{R}^+ - \{1\} \text{ ve } a \in \mathbb{R}^+$$

olmak üzere;

$$y = a^x$$

şeklinde tanımlanmaktadır. $y = a^x$ üstel fonksiyon ve $y = \text{Log}_a x$ logaritma fonksiyonlarının grafikleri ise;



Şekil 6. $0 < a < 1$ için logaritma ve üstel fonksiyon grafiği. Şekil 7. $a > 1$ için logaritma ve üstel fonksiyon grafiği.

şeklinde. Dolayısıyla (15) ile elde edilmiş olan $\text{SLog}_a x$ irrasyonel fonksiyonu için de matematikte ters fonksiyonların elde edilmesine dair bilinen işlemlerin yapılması suretiyle; $y=f(x)$ için $x = f^{-1}(y)$ ters fonksiyonu olmak üzere;

$$\text{SLog}_a x = \frac{{}^{2^{30}}\sqrt{x} - 1}{{}^{2^{30}}\sqrt{a} - 1}$$

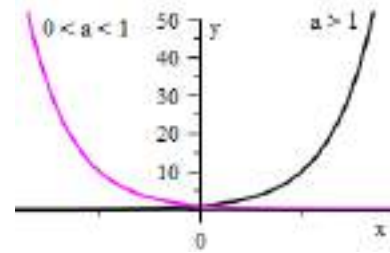
irrasyonel fonksiyonu için ters fonksiyonu (üstel fonksiyonu)

$$e\text{SLog}_a x = \left[x \cdot ({}^{2^{30}}\sqrt{a} - 1) + 1 \right]^{2^{30}} ; (x > 0, a > 0) \quad (16)$$

olarak yazılabilir. ($e\text{SLog}_a x$ notasyonu $\text{SLog}_a x$ fonksiyonunun ters fonksiyonu olarak kullanılmıştır.)

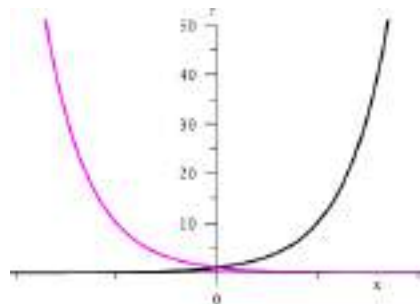
(16) ifadesi de $y = a^x$ üstel fonksiyonunu temsilen elde edilmiş olan üstel fonksiyon olduğundan (16) ifadesindeki a ve x sırasıyla üs alma işlemine ait taban ve üssü ifade etmektedir.

(16) ile ifade edilen $e\text{SLog}_a x = \left[x \cdot ({}^{2^{30}}\sqrt{a} - 1) + 1 \right]^{2^{30}}$ fonksiyonu için de grafikleri çizdirilecek olursa;



Şekil 8. $e\text{SLog}_a x$ üstel fonksiyonu grafiği.

Şekil 6.-Şekil 7 ($y = a^x$) ve Şekil 8. ($e\text{SLog}_a x$) üstel fonksiyon grafikleri birlikte çizdirilecek olursa;



Şekil 9.- Şekil 6.-Şekil 7. ve Şekil 8. grafikleri

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Sayısal sonuçların elde edilmesi

- Şekil 4. ve Şekil 5. ile logaritma fonksiyonu ($\text{Log}_a x$) ile önerilen irrasyonel fonksiyona ($\text{SLog}_a x$) ait grafikler birlikte verilmek suretiyle grafiklerin örtüşmüş olduğu, Tablo 1.-Tablo 4. ile her iki fonksiyon için de değişik taban ve sayı değerleri için logaritma değerleri uygun şekilde hesaplanarak her iki fonksiyon için hesaplanan değerler arasındaki farkın mutlak değeri (hata) son sütunda gösterilmiştir.

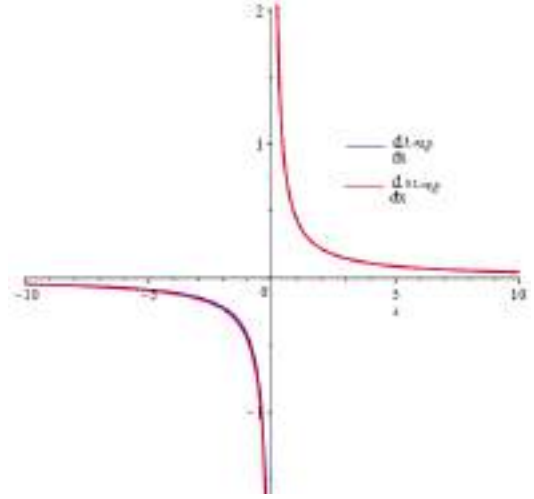
Tablo 1.-Tablo 4. değerlerinden görüleceği üzere x değeri arttıkça $|\text{Log}_a x - \text{SLog}_a x|$ değerinin yani hatanın (göreceli olarak) arttığı görülmekle birlikte oluşan hatanın $x = 10^{30}$ gibi mühendislik uygulamaları açısından çok büyük sayı değeri için bile çok küçük kaldığı görülmektedir (sırasıyla 5, 10, 50 ve 500 taban değerleri için $\leq 5.34 \times 10^{-7}$, $\leq 5.18 \times 10^{-7}$, $\leq 2.70 \times 10^{-7}$ ve $\leq 1.78 \times 10^{-7}$) Dolayısıyla mevcut mühendislik ve matematik uygulamaları açısından oluşan hata değeri herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Şekil 4. ve Şekil 5. ile verilen grafikler de bu hususu pekiştirmektedir.

Benzer olarak Tablo 1.-Tablo 4. değerlerinden aynı sayı (x) değerleri için taban değerleri arttıkça oluşan $|\text{Log}_a x - \text{SLog}_a x|$ hata değerinin de değiştiği görülmektedir. Ancak $x = 10^{30}$ gibi çok büyük sayı değeri dikkate alınacak olsa bile taban değeri arttıkça oluşan hatanın (her ne kadar hesaplamalarda taban ve sayı değerinden bağımsız olarak 10^{-7} mertebesinde gerçekleşiyor olsa bile) azaldığı görülmektedir ($x = 10^{30}$ değeri için 5 ve 500 tabanları için sırasıyla $\leq 5.34 \times 10^{-7}$ ve $\leq 1.78 \times 10^{-7}$)

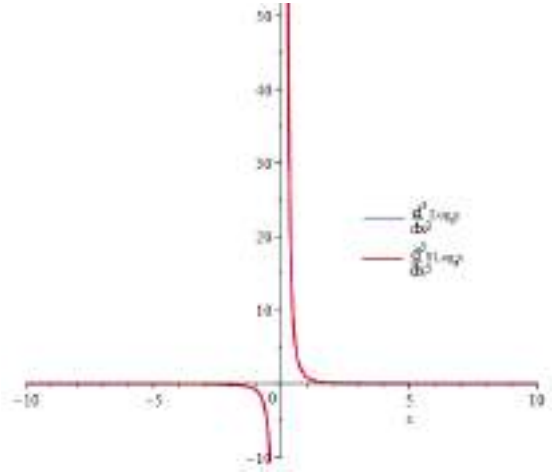
- $\text{SLog}_a x$ irrasyonel fonksiyonu elde edildikten sonra yine bilinen matematiksel tanım ve işlemler çerçevesinde bu fonksiyonun ters fonksiyonu oluşturulmak suretiyle $e\text{SLog}_a x = [x \cdot (\sqrt[2^{30}]{a} - 1) + 1]^{2^{30}}$ üstel fonksiyonu elde edilmiştir.

Bu fonksiyon için de $y = a^x$ üstel fonksiyonu ile birlikte analitik olarak grafiği oluşturulmuş ve Şekil 8. ile verilmiştir. Şekil 9. ile ise $y = a^x$ ve $e\text{SLog}_a x = [x \cdot (\sqrt[2^{30}]{a} - 1) + 1]^{2^{30}}$ fonksiyonunun grafikleri birlikte verilerek (16) ile elde edilen $e\text{SLog}_a x = [x \cdot (\sqrt[2^{30}]{a} - 1) + 1]^{2^{30}}$ fonksiyonunun da $y = a^x$ üstel fonksiyonun temsilinde kullanılabileceği gösterilmiştir. (Yer kaplamaması için üstel hesaplamalara ilişkin sayısal sonuçlar tablo olarak verilmemiştir.)

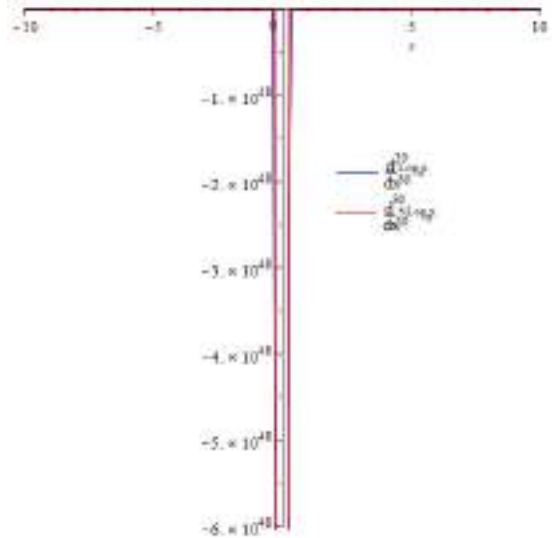
- Yukarıda belirtilen $|\text{Log}_a x - \text{SLog}_a x|$ mutlak farkın (hatanın) 10^{-7} mertebesinde kalması sadece $\text{SLog}_a x$ irrasyonel fonksiyonu için değil herhangi bir mertebeden türevi için de geçerlidir.



Şekil 10.- a=10 tabanı için $\frac{d(\text{Log}_a x)}{dx}$ ve $\frac{d(\text{SLog}_a x)}{dx}$ grafikleri



Şekil 11.- a=10 tabanı için $\frac{d^3(\text{Log}_a x)}{dx^3}$ ve $\frac{d^3(\text{SLog}_a x)}{dx^3}$ grafikleri



Şekil 12.- a=10 tabanı için $\frac{d^{30}(\text{Log}_a x)}{dx^{30}}$ ve $\frac{d^{30}(\text{SLog}_a x)}{dx^{30}}$ grafikleri

Şekil 10.-Şekil 11. ile a=10 taban değeri için türev mertebesi sırasıyla n= 1, 3 ve 30 alınarak $\frac{d^n(\text{Log}_a x)}{dx^n}$ ve $\frac{d^n(\text{SLog}_a x)}{dx^n}$ grafikleri bir arada verilmiştir.

- Bazı integral hesaplamalarının analitik olarak yapılması noktasında SLog_ax fonksiyonunun kullanılması bazı kolaylıklar sağlayabilir. Örneğin:

$I = \int (\text{Lnx})^2 dx$ belirsiz integralinin ilkelini analitik olarak bulabilmek için ardışık olarak iki kez kısmi integrasyon metodunu uygulamak gerekir.

$$u = (\text{Lnx})^2 \quad dv = dx$$

$$du = 2.\text{Lnx} \cdot \frac{1}{x} dx \quad ; \quad v = x$$

$$I = x.(\text{Lnx})^2 - \int x. \left(2.\text{Lnx} \cdot \frac{1}{x} dx \right)$$

$$I = x.(\text{Lnx})^2 - 2 \int \text{Lnx} dx$$

olarak tekrar kısmi integrasyon metodunun uygulanması suretiyle;

$$I = x.(\text{Lnx})^2 - 2 \left[x.\text{Lnx} - \int x. \left(\frac{1}{x} dx \right) \right]$$

$$I = x.(\text{Lnx})^2 - 2 \left[x.\text{Lnx} - \int dx \right]$$

$$I = x.(\text{Lnx})^2 - 2 \left[x.\text{Lnx} - x + C \right]$$

$$I = x.(\text{Lnx})^2 - 2x(\text{Lnx}-1) + C_1 \quad ; \quad C_1 = -2C$$

olarak bulunmuş olurdu. Eğer SLog_ax fonksiyonu ile integrasyon işlemi yapılmış olsaydı;

$$I = \int \left(\frac{x^n - 1}{a^n - 1} \right)^2 dx = \frac{1}{(a^n - 1)^2} \int (x^n - 1)^2 dx \quad ; \quad n = \frac{1}{2^{30}}$$

$$I = \frac{1}{(a^n - 1)^2} \int (x^{2n} - 2x^n + 1) dx$$

$$I = \frac{1}{(a^n - 1)^2} \left(\frac{x^{2n+1}}{2n+1} - 2 \cdot \frac{x^{n+1}}{n+1} + x \right) + C_2 \quad ; \quad n = \frac{1}{2^{30}}$$

şeklinde elde edilmiş olurdu. Yukarıda verilen örnek uygulamadan da görüleceği üzere bu tür integrallerin analitik çözümlerine ilişkin olarak SLog_ax fonksiyonunu kullanmak gerek zaman gerekse işlem açısından avantaj sağlamaktadır. Bu avantaj $\int x^p.(\text{Lnx})^q dx$ (p, q ∈ Z⁺) tarzında integrallerin çözümünde daha da artmaktadır.

- Değişik taban ve sayı değerleri için Log_ax ve SLog_ax fonksiyonları için hesaplanan değerler ve |Log_ax - SLog_ax| değeri (hata) Tablo 1.-Tablo 4. ile verilmiştir.

Tablo 1. a=5 tabanı için hesaplanan Log_ax ve SLog_ax değerleri ve mutlak fark (hata)

x	Log ₅ x	SLog ₅ x	|Log ₅ x - SLog ₅ x|
1	0,000000000	0,000000000	0,000000000
5	1,000000000	1,000000000	0,000000000
10	1,430676558	1,430676551	0,000000007
50	2,430676558	2,430676551	0,000000007
100	2,861353118	2,861353102	0,000000014
500	3,861353118	3,861353102	0,000000014
1.000	4,292029674	4,292029653	0,000000021
5.000	5,292029674	5,292029653	0,000000021
10.000	5,722706232	5,722706204	0,000000028
50.000	6,722706232	6,722706204	0,000000028
100.000	7,153382790	7,153382756	0,000000034
500.000	8,153382790	8,153382756	0,000000034
1.000.000	8,584059348	8,584059307	0,000000041
5.000.000	9,584059348	9,584059307	0,000000041
10.000.000	10,014735906	10,014735858	0,000000048
50.000.000	11,014735906	11,014735858	0,000000048
100.000.000	11,445412464	11,445412409	0,000000055
500.000.000	12,445412464	12,445412409	0,000000055
1.000.000.000	12,876089022	12,876088960	0,000000062
5.000.000.000	13,876089022	13,876088960	0,000000062
10.000.000.000	14,306765580	14,306765512	0,000000068
50.000.000.000	15,306765580	15,306765512	0,000000068
100.000.000.000	15,737442138	15,737442163	0,000000075
10 ³⁰	42,92029674	42,920297276	0,000000534

Tablo 2. a=10 tabanı için hesaplanan Log_ax ve SLog_ax değerleri ve mutlak fark (hata)

x	Log ₁₀ x	SLog ₁₀ x	|Log ₁₀ x - SLog ₁₀ x|
1	0,000000000	0,000000000	0,000000000
5	0,698970004	0,698970006	0,000000004
10	1,000000000	1,000000000	0,000000000
50	1,698970004	1,698970006	0,000000004
100	2,000000000	2,000000000	0,000000000
500	2,698970004	2,698970006	0,000000004
1.000	3,000000000	3,000000000	0,000000000
5.000	3,698970004	3,698970006	0,000000004
10.000	4,000000000	4,000000000	0,000000000
50.000	4,698970004	4,698970006	0,000000004
100.000	5,000000000	5,000000000	0,000000000
500.000	5,698970004	5,698970006	0,000000004
1.000.000	6,000000000	6,000000000	0,000000000
5.000.000	6,698970004	6,698970006	0,000000004
10.000.000	7,000000000	7,000000000	0,000000000
50.000.000	7,698970004	7,698970006	0,000000004
100.000.000	8,000000000	8,000000000	0,000000000
500.000.000	8,698970004	8,698970006	0,000000004
1.000.000.000	9,000000000	9,000000000	0,000000000
5.000.000.000	9,698970004	9,698970006	0,000000004
10.000.000.000	10,000000000	10,000000000	0,000000000
50.000.000.000	10,698970004	10,698970006	0,000000004
100.000.000.000	11,000000000	11,000000000	0,000000000
10 ³⁰	30,000000000	30,000000518	0,000000518

Tablo 3. a=50 tabanı için hesaplanan $\text{Log}_a x$ ve $\text{SLog}_a x$ değerleri ve mutlak fark (hata)

x	$\text{Log}_{50}x$	$\text{SLog}_{50}x$	$|\text{Log}_{50}x - \text{SLog}_{50}x|$
1	0,00000000	0,00000000	0,00000000
5	0,41140809	0,41140809	0,00000001
10	0,58859191	0,58859190	0,00000001
50	1,00000000	1,00000000	0,00000000
100	1,17718362	1,17718361	0,00000002
500	1,58859191	1,58859190	0,00000001
1.000	1,76577573	1,76577572	0,00000003
5.000	2,17718362	2,17718361	0,00000010
10.000	2,35436764	2,35436763	0,00000004
50.000	2,76577573	2,76577572	0,00000003
100.000	2,94295955	2,94295954	0,00000005
500.000	3,35436764	3,35436763	0,00000004
1.000.000	3,53155148	3,53155145	0,00000007
5.000.000	3,94295955	3,94295954	0,00000005
10.000.000	4,12014337	4,12014336	0,00000008
50.000.000	4,53155148	4,53155145	0,00000007
100.000.000	4,70873528	4,70873527	0,00000010
500.000.000	5,12014337	5,12014336	0,00000008
1.000.000.000	5,29732719	5,29732718	0,00000011
5.000.000.000	5,70873528	5,70873527	0,00000010
10.000.000.000	5,88591910	5,88591908	0,00000012
50.000.000.000	6,29732719	6,29732718	0,00000011
100.000.000.000	6,47451101	6,47451099	0,00000013
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
10 ³⁰	17,6577573	17,65775752	0,000000270

Tablo 4. a=500 tabanı için hesaplanan $\text{Log}_a x$ ve $\text{SLog}_a x$ değerleri ve mutlak fark (hata)

x	$\text{Log}_{500}x$	$\text{SLog}_{500}x$	$|\text{Log}_{500}x - \text{SLog}_{500}x|$
1	0,00000000	0,00000000	0,00000000
5	0,25897657	0,25897657	0,00000001
10	0,37051171	0,37051171	0,00000000
50	0,62948828	0,62948828	0,00000000
100	0,74102342	0,74102342	0,00000001
500	1,00000000	1,00000000	0,00000000
1.000	1,11535139	1,11535138	0,00000001
5.000	1,37051171	1,37051171	0,00000000
10.000	1,48204685	1,48204685	0,00000002
50.000	1,74102342	1,74102342	0,00000001
100.000	1,85258863	1,85258863	0,00000003
500.000	2,11535139	2,11535138	0,00000001
1.000.000	2,22307027	2,22307027	0,00000003
5.000.000	2,48204685	2,48204685	0,00000002
10.000.000	2,59358199	2,59358198	0,00000003
50.000.000	2,85258863	2,85258863	0,00000003
100.000.000	2,96409370	2,96409370	0,00000004
500.000.000	3,22307027	3,22307027	0,00000003
1.000.000.000	3,33460541	3,33460541	0,00000004
5.000.000.000	3,59358199	3,59358198	0,00000003
10.000.000.000	3,70511713	3,70511712	0,00000004
50.000.000.000	3,96409370	3,96409370	0,00000004
100.000.000.000	4,07562884	4,07562883	0,00000005
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
10 ³⁰	11,11535139	11,11535152	0,000000178

amaçlanarak $\text{SLog}_a x$ irrasyonel fonksiyonu önerilmiş ve elde edilmiştir. Şekil 4., Şekil 5. grafikleri ve Tablo 1.-Tablo 4. sayısal sonuçlarından $\text{SLog}_a x$ irrasyonel fonksiyonunun matematik, mühendislik ve diğer bilim dallarında yaygın kullanımı olan $\text{Log}_a x$ fonksiyonu ile aynı işleve sahip olduğu gösterilmiş, her iki fonksiyon için de bulunan değerler arasında oluşan mutlak farkın (hatanın) seçilen taban (a) ve sayı değerlerinden (x) bağımsız olmak üzere

$$|\text{Log}_a x - \text{SLog}_a x| < 10^{-7}$$

olarak gerçekleştiği, $\text{SLog}_a x$ irrasyonel fonksiyonunun $\text{Log}_a x$ fonksiyonunun temsilinde kullanılabileceği, $\text{Log}_a x$ fonksiyonunun kendisi (veya üslü ifadeleri) dikkate alındığında bazı durumlarda analitik olarak integral alma işlemlerini $\text{SLog}_a x$ ile yapmanın avantaj sağlayacağı gösterilmiştir.

- Bu çalışmada önerilmiş ve elde edilmiş olan $\text{SLog}_a x$ ve $e\text{SLog}_a x$ fonksiyonları ile $\text{Log}_a x$ ve $y = a^x$ fonksiyonları için hesaplanan değerler arasındaki fark (hata), mühendislik ve matematik uygulamaları açısından sorun teşkil etmeyecek derecede çok küçük ($< 10^{-7}$) kalmakta, gerçek değerler ile gelişmemektedir.

- Bu çalışmanın amacı, temelde $\text{Log}_a x$ fonksiyonunun irrasyonel $\text{SLog}_a x$ fonksiyonu ile temsil edilmesine yönelik olduğundan başlangıç olarak $\text{Log}_a x$ fonksiyonu ile yapılan logaritma hesaplarının, grafiklerin elde edilmesi ve özellikle $\text{Log}_a x$ ihtiva eden, analitik olarak çözülmesi zaman alan ve çok işlem gerektiren integrallerin alınmasının daha kolay bir şekilde yapılabilmesi hedeflenmiş ve $\text{SLog}_a x$ fonksiyonu ile bazı integrallerin analitik olarak daha kolay çözülebileceği gösterilmiştir.

- Ancak bu çalışmada esas olarak $\text{Log}_a x$ ve $y = a^x$ fonksiyonlarının temsiline ilişkin olarak $\text{SLog}_a x$ ve $e\text{SLog}_a x$ fonksiyonlarının elde edilmesi hedeflendiğinden $\text{SLog}_a x$ ve $e\text{SLog}_a x$ fonksiyonlarının analitik olarak incelenmeleri, seri açılımları ve bu doğrultuda $\text{Log}_a x$ fonksiyonu ile olan yakınsaklık durumlarının irdelenmesi, $\text{Log}_a x$ ve $y = a^x$ fonksiyonlarını içeren adi veya kısmi diferansiyel denklemlere benzer olarak aynı çalışmaların $\text{SLog}_a x$ ve $e\text{SLog}_a x$ fonksiyonları için de yapılması, gerekli çıkarımların, olası sınırlılıkların belirlenmesi, kompleks sayıların logaritmasının hesaplanması bu çalışmada yapılmayan fakat bu çalışmanın devamı olarak yapılması düşünülen başlıklar olarak sayılabilir.

- Bütün bu hususlar dahilinde $\text{SLog}_a x$ ve $e\text{SLog}_a x$ ile önerilen fonksiyonların bu çalışma ile ilk kez önerilmiş ve elde edilmiş olmaları, matematiğin en temel tanım, kavram ve fonksiyonları için bile süreç içerisinde yeni öneri, yöntem ve yorumların yapılabilceği fikrini desteklemesi açısından önemlidir.

4. Sonuç

- Bu çalışmada logaritma hesabı için kullanılan $\text{Log}_a x$ fonksiyonunun irrasyonel bir fonksiyon ile temsil edilebileceği

Kaynakça

- Aleksandrov, A. G., (2014). Residues of Logarithmic Differential Forms in Complex Analysis and Geometry, *Analysis in Theory and Applications*, Vol. 30, No. 1, 34-50.
- Andrews G. E., Askey R., Roy R. (1999). Special Functions, *Encyclopedia of Mathematics and its Applications*, 71, Cambridge University Press
- Boyer, C. B. and Merzbach, U. C. (1991). Invention of Logarithms., *A History of Mathematics, 2nd ed. New York: Wiley*, 312-313.
- Bruce, I., (2000), Napier's logarithms., *American Journal of Physics*, 68(2):148-154
- Fauvel, J., (2000). John Napier 1550-1617. EMS Newsletter, 38:24-25, (Reprinted pp. 1, 6-8 of *CMS Notes-Notes de la SMC*, volume 33, issue 6, October 2001)
- Gautschi, W. (2008). On Euler's attempt to compute logarithms by interpolation: A commentary to his letter of February 16, 1734 to Daniel Bernoulli, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 219, no.2, 408-415.
- Havil, J. (2003). The Baron's Wonderful Canon., 1.2 in *Gamma: Exploring Euler's Constant. Princeton, NJ: Princeton University Press*, 4-11.
- Kathleen, M., Montelle, C., (2015). Logarithms: The Early History of a Familiar Function - John Napier Introduces Logarithms, *Mathematical Association of America*.
- Kreyszig E. (1993). Advanced Engineering Mathematics, *John Wiley & Sons*, 7th Edition.
- Matala-Aho T., Vaananen Keijo, Zudilin Wadim. (2005). New Irrationality Measures for q-Logarithms, *Mathematics of Computation*, v. 75, Number 254, 879-889.
- Mathews J. H. (1992). Numerical Methods for Mathematics, Science and Engineering, *Prentice-Hall Inc.*, 2nd Ed.
- Koelink, E., Assche, W. V. (2009). Leonhard Euler and a q-analogue of the logarithm. , *American Mathematical Society*, v.137, n.5, 1663-1676.
- Nofal, C. P. (2006) Proof that the Natural Logarithm Can Be Represented by the Gaussian Hypergeometric Function.
- Pol D., (2018), On the values of logarithmic residues along curves, *Ann. Inst. Fourier Grenoble*, 68, 2, 725-766.
- Rice B., Gonzales-Velasco E., Corrigan A. (2017). John Napier. In *The Life and Works of John Napier*, *Springer*.
- Tajima. S., Nabeshima, K., (2021). Computing Regular Meromorphic Differential Forms via Saito's Logarithmic Residues, Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications, *Sigma 17*.
- Thomas, G. B., Maurice D. W., Joel H. R. (2010). Thomas' Calculus, *12th Edition, Pearson*.



One-pot Green Synthesis of Palladium Doped Reduced Graphene Oxide Composite For Electrochemical Determination of Hydrogen Peroxide

Ersan Turunc^{1,2*}

^{1*} Department of Nanotechnology and Advanced Materials, Institute of Science, Mersin University, 33343 Mersin, Turkey

² Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies, Technical Science Vocational School, Mersin University, Mersin, 33343, Turkey
(ORCID: 0000-0001-6412-9020), ersanturunc@mersin.edu.tr

(First received 4 May 2021 and in final form 24 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932703)

ATIF/REFERENCE: Turunc, E. (2021). One-pot Green Synthesis of Palladium Doped Reduced Graphene Oxide Composite For Electrochemical Determination of Hydrogen Peroxide. *European Journal of Science and Technology*, (25), 550-555.

Abstract

In the present study, a modified electrosensor based on one-pot green synthesized palladium doped reduced graphene oxide composite (Pd@rGO) has been developed for the electrochemical determination of hydrogen peroxide. The electrochemical features of the electrosensor was appraised by cyclic voltammetry (CV) and differential puls voltammetry (DPV) techniques. The Pd@rGO modified glassy carbon electrode exhibited a superior electroactivity as against to unmodified glassy carbon electrode (GCE). It demonstrated a superior performance toward hydrogen peroxide in the concentration range of 10 μ M and 1.0 mM with a detection limit of 0.12 μ M. The selectivity of the sensor was investigated in the presence of various biological interferents like glucose, ascorbic acid, dopamine, paracetamol and uric acid. The results showed that the electrosensor had no considerable response to those of intererent substances.

Keywords: Reduced graphene oxide, Electroensor, Hydrogen peroxide, Nanocomposite, Green synthesis.

Hidrojen Peroksitin Elektrokimyasal Tayini İçin Paladyum Katkılı İndirgenmiş Grafen Oksit Kompozitinin Tek Basamaklı Yeşil Sentezi

Öz

Bu çalışmada, hidrojen peroksitin elektrokimyasal tayini için bir basamakta yeşil yöntemle sentezlenmiş paladyum katkılı indirgenmiş grafen oksit kompozitine (Pd@rGO) dayalı modifiye bir elektrosensör geliştirilmiştir. Elektrosensörün elektrokimyasal özellikleri, döngüsel voltametri (CV) ve diferansiyel puls voltametri (DPV) teknikleriyle değerlendirilmiştir. Pd@rGO kompozit ile modifiye edilmiş camsı karbon elektrot, modifiye edilmemiş camsı karbon elektroduna (GCE) göre üstün bir elektroaktivite sergilemiştir. Elektrosensör 0.12 μ M saptama limiti ile 10 μ M ve 1.0 mM derişim aralığında hidrojen peroksite karşı iyi bir performans göstermiştir. Sensörün seçiciliği, glikoz, askorbik asit, dopamin, parasetamol ve ürik asit gibi girişim yapan çeşitli biyolojik moleküllerin varlığında araştırılmıştır. Sonuçlar, elektrosensörün girişim yapan maddelere karşı önemli bir cevap vermediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İndirgenmiş grafen oksit, Elektrosensör, Hidrojen peroksit, Nanokompozit, Yeşil sentez.

* Corresponding Author: ersanturunc@mersin.edu.tr

1. Introduction

Graphene, due to its unrivaled atomic layered structure, unrivaled physical and electronic properties, has a very good electrical, electrochemical, optical, thermal and mechanical properties [Gan ve ark., 2019; Novoselov ve ark., 2004]. By virtue of its thermal and electrical conductivity, graphene finds application in various areas such as in strengthening nanocomposites, transparent conductive films, electronic circuits, chemical and biosensors, pharmaceutical and gene release agents, nanoelectronics and energy storage system [Geim ve ark., 2007; Geim, 2009]. Graphene oxide is layered and containing oxygenated species like epoxide, carboxyl, hydroxyl groups on their basal planes and edges, which is considered pioneer to large-scale graphene synthesis [Chua ve ark., 2009]. These species not just extend the intermediate layer distance but also make the atomic-thick layers hydrophilic [Thakur ve ark., 2015; Ed ve ark., 2010]. And also these oxygen-containing functional groups can create a platform for attachment of nanoparticles, prevents nanoparticles from aggregating and enhance the stability [Hsu ve ark., 2014]. Furthermore, graphene-grafted with metallic nanoparticles have gained great importance because of their ability to exhibit synergistic effects that cause to enhance the electrocatalytic performance [Salazar ve ark., 2019]. Owing to comprising a great number of oxygen functional group on graphene oxide, it can be reduced by assorted processes like thermal annealing [Saleem ve ark., 2018], photochemical [dos Santos ve ark., 2018] and chemical [Gao ve ark., 2017]. Among these, the most applied approach is the chemical reduction method. The chemical route is based on use of hydroquinone, sodium borohydride and hydrazine as reductants [Das ve ark., 2018]. However, those chemical based reductants are extremely toxic and have noxious influence on environment and human wellness. Therefore, it is essential to evolve new eco-friendly routes for the productive reduction of graphene oxide into reduced graphene oxide [Gan ve ark., 2019]. In recent years, there have been a considerable interest to plants for nanomaterials/nanocomposites synthesis, which is eco-friendly, cost-effective and easy carry out [De Silva ve ark., 2017].

Hitherto, a large number of studies have been reported the eco-friendly one-pot synthesis of reduced graphene oxide grafted with metallic nanoparticles via plant extracts. *Phyllanthus acidus*, *Salvadora persica* L., *Berberis vulgaris*, *Pulicaria glutinosa* and *Psidium guajava* are to name of a few [Nayak ve ark., 2020; Al-Marri ve ark., 2016; Nasrollahzadeh ve ark., 2016; Khan ve ark., 2017; Chettri ve ark., 2017]. In our recent work, we have introduced one-step route for the synthesis of reduced GO/Pd nanocomposite using *Onosma malatyana* Binzet (OMB) root extract and tested on hydrogen evolution reaction [Kayan ve ark., 2021].

The genus *Onosma* L. is the most broad group in the Boraginaceae family and includes about 150 species that are spreaded out in Asia and Europe. It is depicted by 109 taxa (103 species) in Turkey with 50 % endemism rate among native species. *Onosma malatyana* Binzet is an endemic species that spreads in the Eastern Anatolia provinces of Malatya and Tunceli [Binzet *et al.*, 2016].

Hydrogen peroxide (H_2O_2) is greatly enforced in various industry as an essential mediator in food, biology, environment, pharmaceutical and clinical, but the most application area is as a bleaching item in the textile, pulp, and paper industries [Golsheikh ve ark., 2020]. In addition, the surveys in health area, H_2O_2 suggested to be related to alzheimer's disease, myocardial

infarction, atherosclerosis, Parkinson's disease and cancers [Guo ve ark., 2020]. Therefore, the determination of hydrogen peroxide is crucial for human and environmental health. Several analytical methods have been evolved for the determination of H_2O_2 such as spectrophotometry [Apyari ve ark., 2019], colorimetry, fluorescence [Liu ve ark., 2020] and electroanalytical methods [Turunc ve ark., 2021]. Among these methods, electrochemical methods have been extensively utilized for determination of hydrogen peroxide owing to their cost-effectiveness, simplicity, sensitivity and selectivity.

In this study, palladium decorated reduced graphene oxide composite modified electrosensor has been developed and used in the determination of hydrogen peroxide.

2. Material and Method

2.1. Reagents

Deionized water was used in all experiment. Hydrogen peroxide, sulphuric acid, phosphoric acid, potassium permanganat were purchased from Merck company. Graphite powder, potasyumtetrachloro palladate(II), sodium phosphate monobasic, sodium phosphate dibasic, dopamine hydrochloride, uric acid, ascorbic acid, paracetamol and glucose were supplied from Sigma-Aldrich. *O. malatyana* plant was provided from Mersin University Biology Herbarium.

2.1.1. Preparation of the extract

For the green synthesis of nanocomposite the roots of the *O. malatyana* were used. The root extract was obtained according to the procedure performed previously [Kayan ve ark., 2021]. Briefly, the roots were left to desiccate in shadow for about 10 days at room temperature. The desiccated roots were milled by crusher to get slender powder. The slender powder (5 g) was placed into 250 mL round bottom flask and boiled for 30 min in 100 mL of ultra pure water. After 30 min of exposure to boiling temperature, the solution was allowed to cool to room temperature, filtered and the supernatant was held in refrigerant at +4 °C until used.

2.1.2. Synthesis of palladium decorated reduced graphene oxide (Pd@rGO)

Firstly, graphene oxide was synthesized by oxidation of graphite via modified Hummer's process [Tajiki ve ark., 2020]. Green synthesis of Pd@rGO nanocomposite was synthesized successfully according to the previous study and the structural characterization were given in Supplementary files. Briefly, GO (25 mg) was poured into water (25 mL) and sonicated for 30 min. to acquire dispersed GO (1 mg/mL). 25 mL of K_2PdCl_4 (1 mM) solutions was attached to GO suspension (1 mg/mL) and sonicated for another 30 min. Afterward, *O. malatyana* root extract were added into above concoction and refluxed at 80 °C for 10 h. The obtained mixture was left to cool to room temperature and separated. For comparison, rGO and pure PdNPs were synthesized by the same method as mentioned above.

2.1.2. Characterization

Structural morphology of the PdNPs, rGO and Pd@rGO nanocomposite were performed by Scanning Electron Microscopy (SEM) coupled with Energy Dispersive X-ray spectrometer (EDX) (Zeiss) and Transmission Electron Microscopy (TEM) (JEOL JEM 1011 Megaview III Camera iTEM Software) techniques. Further analysis were carried out by UV-Vis spectrometer (Shimadzu 1800 spectrophotometer), X-ray

powder diffraction (XRD) (Rikagu diffractometer with CuK α , $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) and Dynamic light scattering (DLS) on account of determining the formation, crystallinity, the stability of the nanomaterials, respectively. Electrochemical investigations were performed CHI 660E electrochemical workstation at ambient temperatures. A conventional three-electrode system was used for electrochemical studies, where the Pt wire and an Ag/AgCl electrode were used as counter and reference electrodes, respectively. A glassy carbon with diameter of ca. 3 mm was used as working electrode.

For the electrochemical determination of hydrogen peroxide, glassy carbon electrode (GCE) was modified with bio-synthesized Pd@rGO composite. Prior to modification, the glassy carbon electrode (GCE) was polished utilizing 0.30 and 0.05 μm alumina powder, and sonicated in 1:1 (v:v) nitric acid, acetone and deionized water for 5 min to get smooth surface, respectively. The polished GCE was modified by drop-casting of Pd@rGO nanocomposite suspension (5 mg/mL). A certain amount of Pd@rGO (8 μL) suspension was casted on the shiny surface, covered with beaker and left to dry at ambient temperature. Finally, 5 μL of Nafion® (5 % in alcohol) was encased by casting upon modified electrode surface. In order to the syllogism studies, rGO and PdNPs modified electrodes were prepared by subsequent the same procedure mentioned above.

3. Results and Discussion

3.1. Electrochemical characterization

Cyclic voltammetry studies were performed utilizing 1.0 mM $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-/3-}$ redox couple in 0.1 M KCl solution at scan rate of 100 mV/s. All of the electrodes showed a well-defined redox wave which corresponding to $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$ process. The anodic peak current acquired for bare GCE, rGO-GCE, PdNPs-GCE and Pd@rGO-GCE were 17.5, 22.5, 26.3 and 45.2 μA respectively (Fig. 3.1). From, Pd@rGO-GCE showed highest current response and lower peak-to-peak separation, it evidenced that Pd@rGO composite modified electrode facilitate the electron transfer and displayed excellent electron transfer ability as per the other modified electrode. The superior electrocatalytic activity can be assigned to the synergistic effect of PdNPs along with rGO that enhances the rate of electron transfer at the electrode electrolyte boundary.

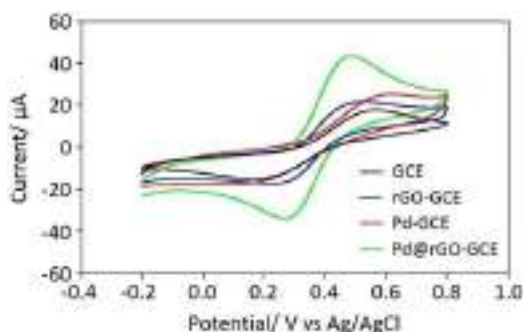


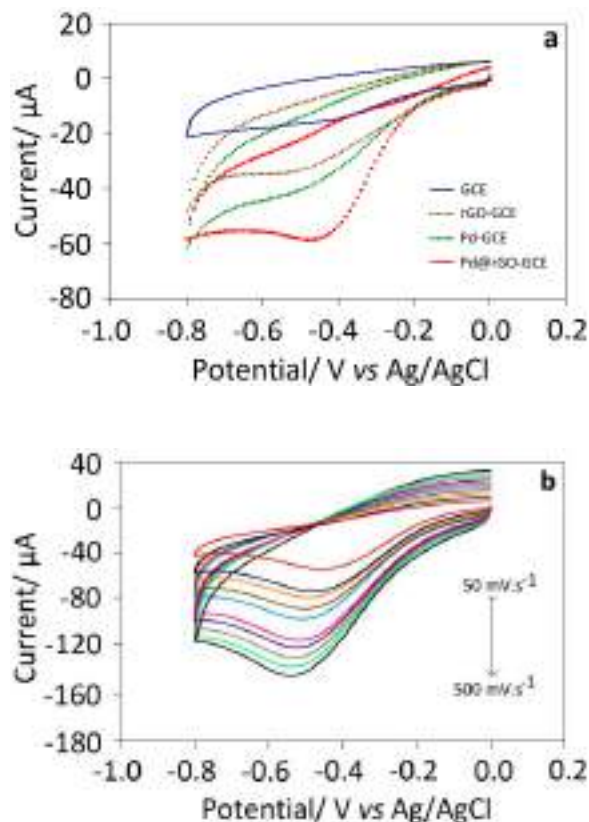
Fig. 3.1. Cyclic voltammograms of bare GCE, rGO-GCE, PdNPs-GCE and Pd@rGO-GCE in 0.1 M KCl comprising 1.0 mM $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-/3-}$ redox couple.

3.2. Electrochemical performance of Pd@rGO-GCE toward hydrogen peroxide

For purpose of examining the electrochemical performance of the modified electrode toward H_2O_2 , cyclic voltammograms were carried out to appraise the electrocatalytic efficiency of *e-ISSN: 2148-2683*

Pd@rGO-GCE. The electrocatalytic performance of the bare, rGO, PdNPs and Pd@rGO nanocomposite modified GCE in PBS (pH = 7.0) medium containing 1.0 mM H_2O_2 in potential range between 0.0 to -0.8 V vs Ag/AgCl were given in Fig. 3.2a. As seen in Fig. 3.2a, no significant reduction response was obtained for bare GCE in presence of hydrogen peroxide. Meanwhile, rGO, PdNPs and Pd@rGO nanocomposite modified GCE exhibited well electrocatalytic reduction response for H_2O_2 at same conditions. Moreover, Pd@rGO modified electrode exhibited excellent current response which was about 2 times higher than that of other modified electrodes.

The influence of scan rate on the electrocatalytic reduction of H_2O_2 on Pd@rGO-GCE was also examined in 0.1 PBS (pH = 7.0) media comprising 1.0 mM H_2O_2 at different scan rates varying from 50 to 500 mV/s (Fig. 3.2b). As can be seen in Fig. 3.2b, the current response of reduction of hydrogen peroxide rises with increment scan rate. In addition, the increased scan rate caused the reduction potential to shift to a more negative direction. Fig. 3.2c demonstrates the addition of reduction peak current with square root of scan rate with a correlation coefficient of 0.995. The outcome points out that the reduction of hydrogen peroxide is a characteristic diffusion-controlled electrochemical process. The relation of logarithmic peak current ($\log i$) versus logarithmic scan rate ($\log v$) can also give information about electrochemical process. As seen in Fig. 3.2d, the relationship between the $\log i$ and $\log v$ gives a straight line with linear equation $\log i = 0.429 \log v + 1.04$ and correlation coefficient of 0.994. The slope value of 0.429, which is close to 0.5 [Turunc ve ark., 2020], indicates that the diffusion process control the electrochemical reduction of hydrogen peroxide. This result confirms that the electrochemical reduction of hydrogen peroxide is controlled by the diffusion phenomenon.



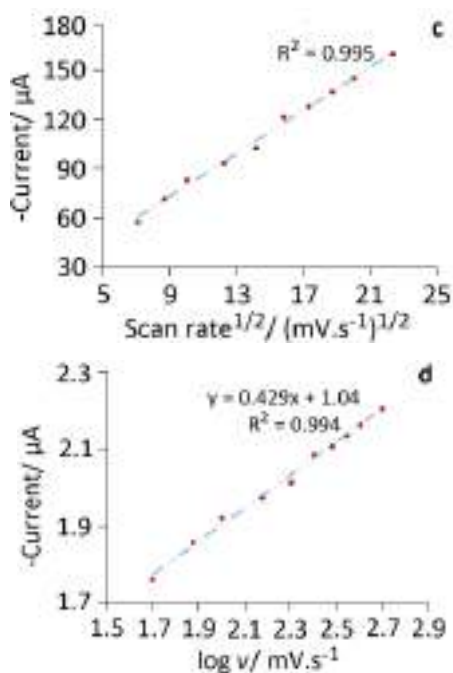


Fig. 3.2. CV diagrams of GCE, rGO-GCE, Pd-GCE and Pd@rGO-GCE in 0.1 M PBS (pH 7.0) comprising 1.0 mM H₂O₂ with a scan rate of 50 mV/s (a), CV diagrams of Pd@rGO-GCE in 0.1 M PBS (pH = 7.0) comprising 1.0 mM H₂O₂ at different scan rate (b), the relation of cathodic peak current and square root of scan rate (c) and the variation of logarithmic peak current via logarithmic scan rate (d).

Further investigation was carried using amperometric technique. The amperometric *i* - *t* studies was performed at constant potential (-0.40 V_{Ag/AgCl}) in a continuously mixed solution of 0.1 M PBS. The amperometric response of Pd@rGO-GCE to sequential addition of H₂O₂ was recorded for a period of time (Fig. 3.3). The reduction current was prominent raised with sequential addition of H₂O₂ and the current response of the modified electrode was observed within ca 3s, representing that Pd@rGO-GCE displays fast response for electrochemical reduction of H₂O₂.

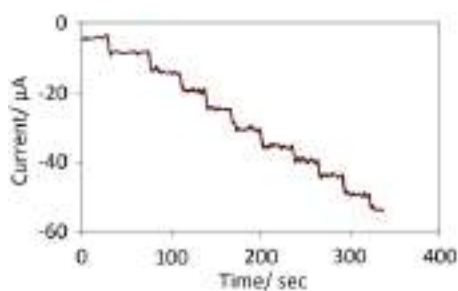


Fig. 3.3. Amperometric *i* - *t* response of Pd@rGO-GCE for the sequential addition of H₂O₂ into well-mixed 0.1 M PBS at -0.40 V.

3.3. Electrochemical determination of hydrogen peroxide

Further analysis was realized by using differential pulse voltammetry (DPV) technique to determine the performance of the Pd@rGO-GCE as a sensor (Fig. 3.4). Fig. 3.4 depicts the differential pulse voltammograms and the linear plot of H₂O₂ solutions with concentrations ranging from 10 μM to 1.0 mM in 0.1 M PBS (pH = 7.0) utilizing Pd@rGO-GCE. It can be seen from the DPV that there is a commensurate increase in current

response with raising H₂O₂ concentration, with linear equation of $I(\mu\text{A}) = 42.87[\text{H}_2\text{O}_2](\text{mM}) + 15.18$ ($R^2=0.995$). The limit of detection (LOD) and the sensitivity were calculated to be 0.12 μM and 42.87 μA/mM, respectively. It can be inferred that the Pd@rGO-GCE exhibited a good electroactivity with low LOD. For the purpose of appraise the performance of the developed electrode, the Pd@rGO-GCE sensor was checked against previously reported H₂O₂ sensors and listed in Table 1.

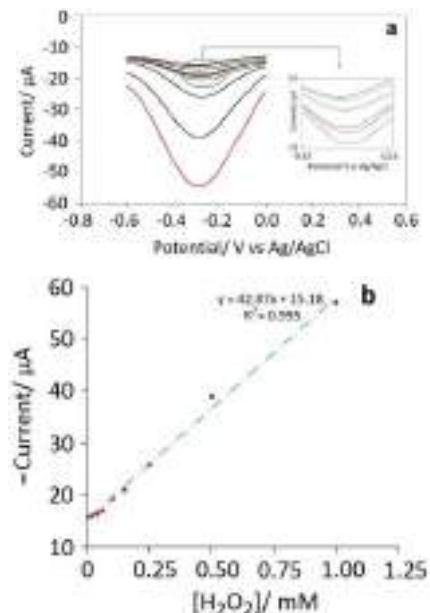
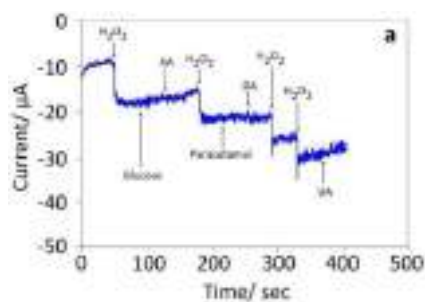


Fig. 3.4. Differential puls voltammetric responses of Pd@rGO-GCE against to different concentrations of H₂O₂ in 0.1 M PBS (pH = 7.0). Inset diagram is the magnification of voltammograms of the lower concentration region, and (b) the linear plot of the DPV current response versus H₂O₂ concentration.

3.4. Interference, reproducibility and stability studies

Alongside the LOD and sensitivity, interference property and reproducibility are also significant parameters for electrochemical sensors. Fig. 3.5a demonstrates the amperometric current response of the Pd@rGO-GCE toward H₂O₂ in presence of interfering species such as ascorbic acid, glucose, paracetamol, dopamine and uric acid. As represented in Fig. 5a, no current response was pursued with addition of interfering species, shows that the Pd@rGO sensor exhibits good selectivity against H₂O₂ at -0.40 V.

The reproducibility of the Pd@rGO modified electrode was examined by four electrodes for 1.0 mM H₂O₂, with relative standard deviation of 2.60 % (Fig. 3.5b).



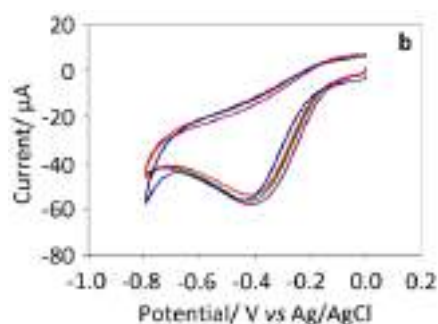


Fig. 3.5. Amperometric response of Pd@rGO-GCE to consecutive addition of H₂O₂ and interfering species (a) and CV diagram of four independent Pd@rGO-GCE in 0.1 M PBS (pH = 7.0) comprising 1.0 mM H₂O₂. Scan rate is 50 mV.s⁻¹.

Table 1. The electroanalytical performance of the various H₂O₂ sensors

Electrode	Concentration range	LOD (µM)	Sensitivity	Reference
CuS/GR	5 µM - 1.5 mM	0.27	-	[Bai ve ark., 2013]
GO-Cu ²⁺ composite	5 µM - 85 µM	0.50	72 µA.mM ⁻¹	[Muralikrishna ve ark., 2016]
AuNPS/ZnO/Gr	6 µM - 1.13 mM	0.80	-	[Xie ve ark., 2013]
3D RGO-MoS ₂ QDs	10 µM - 5.57 mM	1.9	-	[Lin ve ark., 2018]
rGO/FeNPs	0.1 µM - 2.15 mM	0.056	98 µA.mM ⁻¹	[Amanullan ve ark., 2017]
Au/rGO	20 µM - 10 mM	0.10	1238 µA.mM ⁻¹ .cm ⁻²	[Dhara ve ark., 2016]
Cat-Fe ₃ O ₄ /rGO	3.3 µM - 55.6 mM	0.11	1840 µA.mM ⁻¹ .cm ⁻²	[Kıranşan ve ark., 2018]
RGO-PtNPs	0.05 µM - 0.75 mM	0.016	2550 µA.mM ⁻¹ .cm ⁻²	[Palansimay ve ark., 2015]
RGO@CeO ₂ /Ag	0.5 µM - 12 mM	0.21	-	[Yao ve ark., 2016]
Ag/Co ₃ O ₄ /RGO	0.5 µM - 7.5 mM	0.30	146.5 µA.mM ⁻¹ .cm ⁻²	[Wu ve ark., 2016]
Pd@rGO	10 µM - 1 mM	0.12	42.87 µA.mM ⁻¹	This study

4. Conclusions

In the present study, green synthesized Pd@rGO, which was previously utilized on hydrogen evaluation reaction, based electrosensor was prepared and investigated its usability in the electrochemical determination of hydrogen peroxide. For comparison, PdNPs and rGO based electrosensor were also constructed and tested on electroreduction of H₂O₂ using CV in PBS media. The results showed that Pd@rGO-GCE exhibited superior electrocatalytic performance due to synergistic effect of the composite modified electrode. The DPV studies were performed in wide range of concentration between 10 µM and 1 mM and the LOD was found to be 0.12 µM. Amperometric investigations showed that the interfering substances had no considerable effect on electrochemical determination of H₂O₂ at -0.40 V. This indicates that Pd@rGO-GCE is highly sensitive to H₂O₂. Based on performance characteristics such as fast response, wide linear concentration range, low LOD and high sensitivity, it can be recommended that the Pd@rGO can be used as an H₂O₂ sensor.

References

Al-Marri, A.H., Khan, M., Shaik, M.R., Mohri, N., Adil, S.F., Kuniyil, M., Alkhatlan, H.Z., Al-Warthan, A., Tremel, W., Tahir, M.N., Khan, M., Siddiqui, M.R.H. (2016). Green synthesis of Pd@graphene nanocomposite: Catalyst for the selective oxidation of alcohols. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, 835-845.

Amanulla, B., Palanisamy, S., Chen, S.M., Velusamy, V., Chiu, T.W., Chen, T.W., Ramaraj, S.K. (2017). A non-enzymatic amperometric hydrogen peroxide sensor based on iron

nanoparticles decorated reduced graphene oxide nanocomposite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 487, 370-377.

Apyari, V.V., Terenteva, E.A., Kolomnikova, A.R., Garshev, A.V., Dmitrienko, S.G., Zolotov, Y.A. (2019). Potentialities of differently-stabilized silver nanoparticles for spectrophotometric determination of peroxides. *Talanta*, 202, 51-58.

Bai, J., Jiang, X. (2013). A Facile One-Pot Synthesis of Copper Sulfide-Decorated Reduced Graphene Oxide Composites for Enhanced Detecting of H₂O₂ in Biological Environments. *Analytical Chemistry*, 85(17), 8095-8101.

Binzet, R. (2016). A new species of *Onosma* L. (Boraginaceae) from Anatolia. *Turkish Journal of Botany*, 40, 194-200.

Chettri, P., Vendamani, V.S., Tripathi, A., Singh, M.K., Pathak, A.P., Tiwari, A. (2017). Green synthesis of silver nanoparticle-reduced graphene oxide using *Psidium guajava* and its application in SERS for the detection of methylene blue. *Applied Surface Science*, 406, 312-318.

Chua, C.K., Pumera, M. (2015). Monothiolation and Reduction of Graphene Oxide via One-Pot Synthesis: Hybrid Catalyst for Oxygen Reduction. *ACS Nano*, 9, 4193-4199.

Das, T.K., Bhawal, P., Ganguly, S., Mondal, S., Das, N. Ch. (2018). A facile green synthesis of amino acid boosted Ag decorated reduced graphene oxide nanocomposites and its catalytic activity towards 4-nitrophenol reduction. *Surfaces and Interfaces*, 13, 79-91.

De Silva, K.K.H., Huang, H.H., Joshi, R.K., Yoshimura M. (2017). Chemical reduction of graphene oxide using green reductants. *Carbon*, 119, 190-199.

Dhara, K., Ramachandran, T., Nair, B.G., Babua, T.G.S. (2016). Au nanoparticles decorated reduced graphene oxide for the

- fabrication of disposable nonenzymatic hydrogen peroxide sensor. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 764, 64-70.
- Santos, P.L., Katic, V., Toledo, K.C.F., Bonacin, J.A. (2018). Photochemical one-pot synthesis of reduced graphene oxide/Prussian blue nanocomposite for simultaneous electrochemical detection of ascorbic acid, dopamine, and uric acid. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 255, 2437-2447.
- Eda, G., Chhowalla, M. (2010). Chemically Derived Graphene Oxide: Towards Large-Area Thin-Film Electronics and Optoelectronics. *Advanced Materials*, 22, 2392-2415.
- Gan, L., Li, B., Chen, Y., Yu, B., Chen, Z. (2019). Green synthesis of reduced graphene oxide using bagasse and its application in dye removal: A waste-to-resource supply chain. *Chemosphere*, 219, 148-154.
- Gan, L., Li, B., Chen, Y., Yu, B., Chen, Z. (2019). Green synthesis of reduced graphene oxide using bagasse and its application in dye removal: A waste-to-resource supply chain. *Chemosphere*, 219, 148-154.
- Gao, F., Wang, Q., Gao, N., Yang, Y., Cai, F., Yamane, M., Gao, F., Tanaka, H. (2017). Hydroxyapatite/chemically reduced graphene oxide composite: Environment-friendly synthesis and high-performance electrochemical sensing for hydrazine. *Biosensors and Bioelectronics*, 97, 238-245.
- Geim, A.K. (2009). Graphene: Status and Prospects. *Science* 324, 1530-1534.
- Geim, A.K., Novoselov, K.S. (2007). The rise of graphene. *Nature Materials*, 6, 183-191.
- Golsheikh, A.M., Yeap, G.Y., Yam, F.K., Lim, H.S. (2020). Facile fabrication and enhanced properties of copper-based metal organic framework incorporated with graphene for non-enzymatic detection of hydrogen peroxide. *Synthetic Metals*, 260, 116272.
- Guo, Z.Y., Feng, Y.F., Chen, Y.Y., Yao, Q.H., Luo, H.Z., Chen, X. (2020). A taurine-functionalized 3D graphene-based foam for electrochemical determination of hydrogen peroxide. *Talanta*, 208, 120356.
- Hsu, K.C., Chen, D.H. (2014). Green synthesis and synergistic catalytic effect of Ag/reduced graphene oxide nanocomposite. *Nanoscale Research Letters*, 9, 484.
- Kayan, D.B., Turunc, E. (2021). Bio-reduced GO/Pd nanocomposite as an efficient and green synthesized catalyst for hydrogen evolution reaction. *International Journal of Energy Research*, 1-11. <https://doi.org/10.1002/er.6597>.
- Khan, M., Kuniyil, M., Shaik, M.R., Khan, M., Adil, S.F., Al-Warthan, A., Alkhatlan, H.Z., Tremel, W., Tahir, M.N., Siddiqui, M.R.H. (2017). Plant Extract Mediated Eco-Friendly Synthesis of Pd@Graphene Nanocatalyst: An Efficient and Reusable Catalyst for the Suzuki-Miyaura Coupling. *Catalysts*, 7, 20.
- Kırışan, K.D., Aksoy, M., Topçu, E. (2018). Flexible and freestanding catalase-Fe₃O₄/reduced graphene oxide paper: Enzymatic hydrogen peroxide sensor applications. *Materials Research Bulletin*, 106, 57-65.
- Lin, D., Su, Z., Wei, G. (2018). Three-dimensional porous reduced graphene oxide decorated with MoS₂ quantum dots for electrochemical determination of hydrogen peroxide. *Materials Today Chemistry*, 7, 76-83.
- Liu, T., Zhang, S., Liu, W., Zhao, S., Lu, Z., Wang, Y., Wang, G., Zou, P., Wang, X., Zhao, Q., Rao, H. (2020). *Sensors and Actuators B: Chemical*, 305, 127524.
- Muralikrishna, S., Cheunkar, S., Lertanantawong, B., Ramakrishnapa, T., Nagaraju, D.H., Sureunghai, W., R. Balakrishna, G., Reddy, K.R. (2016). *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 776, 59-65.
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S.M., Vartooni, A.R., Alizadeh, M., Bagherzadeh, M. (2016). Green synthesis of the Pd nanoparticles supported on reduced graphene oxide using barberry fruit extract and its application as a recyclable and heterogeneous catalyst for the reduction of nitroarenes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 466, 360-368.
- Nayak S.P., Ramamurthy, S.S., Kumar, J.K.K. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles decorated reduced graphene oxide nanocomposite as an electrocatalytic platform for the simultaneous detection of dopamine and uric acid. *Materials Chemistry and Physics*, 252, 123302.
- Novoselov, K.S., Geim, A.K., Morozov, S.V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V., Firsov, A.A. (2004). Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science*, 306, 666-669.
- Palanisamy, S., Lee, H.F., Chen, S.M., Thirumalraj, B. (2015). An Electrochemical Facile Fabrication of Platinum Nanoparticle Decorated Reduced Graphene Oxide; Application for Enhanced Electrochemical Sensing of H₂O₂. *RSC Advances*, 5, 105567-105573.
- Salazar, P., Fernandez, I., Rodríguez, M.C., Creus, A.H., Mora, J.L.G. (2019). One-step green synthesis of silver nanoparticle-modified reduced graphene oxide nanocomposite for H₂O₂ sensing applications. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 855, 113638.
- Saleem, H., Haneef, M., Abbasi, H.Y. (2018). Synthesis route of reduced graphene oxide via thermal reduction of chemically exfoliated graphene oxide. *Materials Chemistry and Physics*, 204, 1-7.
- Tajiki, A., Abdouss, M., Sadjadi, S., Mazinani, S. (2020). Voltammetric Detection of Nitrite Anions Employing Imidazole Functionalized Reduced Graphene Oxide as an Electrocatalyst. *Electroanalysis*, 32, 2290-2298.
- Thakur, S., Karak, N. (2015). Alternative methods and nature-based reagents for the reduction of graphene oxide: A review. *Carbon*, 94, 224-242.
- Turunc, E., Gumus, I., Arslan, H. (2020). Redox active Co(II) complex modified carbon paste electrode for the determination of dopamine. *Materials Chemistry and Physics*, 243, 122597.
- Turunc, E., Kahraman, O., Binzet, R. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using pollen extract: Characterization, assessment of their electrochemical and antioxidant activities. *Analytical Biochemistry*, 621, 114123.
- Wu, Q., Sheng, Q., Zheng, J. (2016). Nonenzymatic amperometric sensing of hydrogen peroxide using a glassy carbon electrode modified with a sandwich-structured nanocomposite consisting of silver nanoparticles, Co₃O₄ and reduced graphene oxide. *Microchimica Acta*, 183, 1943-1951.
- Xie, L., Xu, Y., Cao, X. (2013). Hydrogen peroxide biosensor based on hemoglobin immobilized at graphene, flower-like zinc oxide, and gold nanoparticles nanocomposite modified glassy carbon electrode. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 107, 245-250.
- Yao, Z., Yang, X., Wu, F., Wu, W., Wu, F. (2016). Synthesis of differently sized silver nanoparticles on a screen-printed electrode sensitized with a nanocomposites consisting of reduced graphene oxide and cerium(IV) oxide for nonenzymatic sensing of hydrogen peroxide. *Microchimica Acta*, 183, 2799-2806.



Supplementary Information

One-pot Green Synthesis of Palladium Doped Reduced Graphene Oxide Composite For Electrochemical Determination of Hydrogen Peroxide

Ersan Turunc^{1,2*}

^{1*} Department of Nanotechnology and Advanced Materials, Institute of Science, Mersin University, 33343 Mersin, Turkey

² Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies, Technical Science Vocational School, Mersin University, Mersin, 33343, Turkey (ORCID: 0000-0001-6412-9020), ersanturunc@mersin.edu.tr

The structural features of rGO, PdNPs and Pd@rGO nanocomposite were realized utilizing SEM and TEM analyses. EDX analysis was performed to identify the chemical composition of the Pd@rGO nanocomposite. The SEM images elicited that rGO had a layered structure (Figure 1.1a). As depicted in Figure 1.1b, PdNPs were in worm-like form. SEM image of Pd@rGO nanocomposite showed that the spherical Pd nanoparticles were homogeneously distributed on the surface of rGO layers (Figure 1.1c and d). The structural property of Pd@rGO nanocomposite was also ratified by TEM analysis (Figure 1.1e and f). As can be seen in Figure 1.1e and f, spherical palladium is homogeneous dispensed on the surface of GO stratum. EDX analysis was also performed to specify the composition of the nanocomposite (Figure 1.1g). EDX spectra showed that Pd@rGO nanocomposite comprise of Pd elements confirming the presence of PdNPs on the rGO sheets.

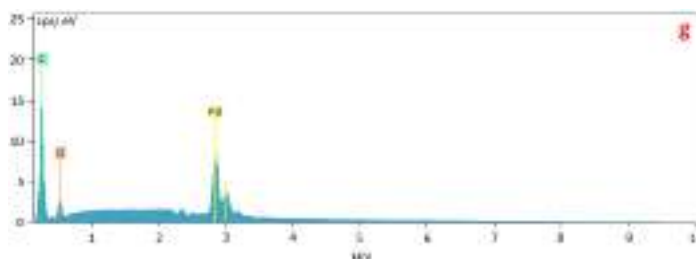
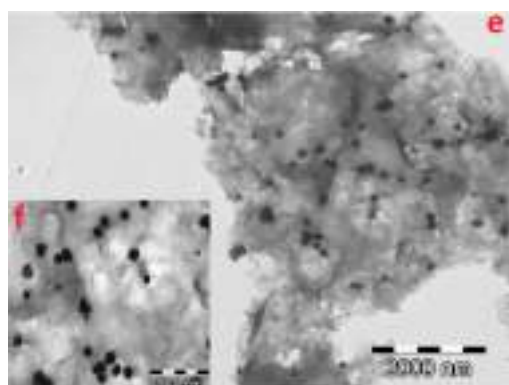
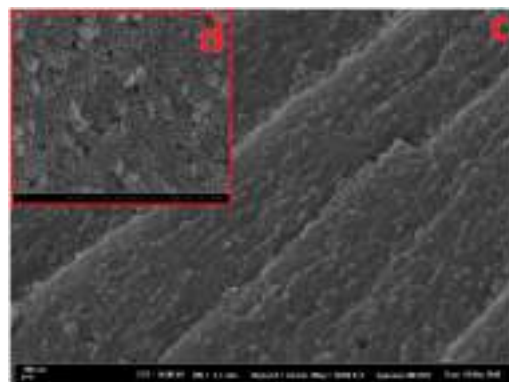
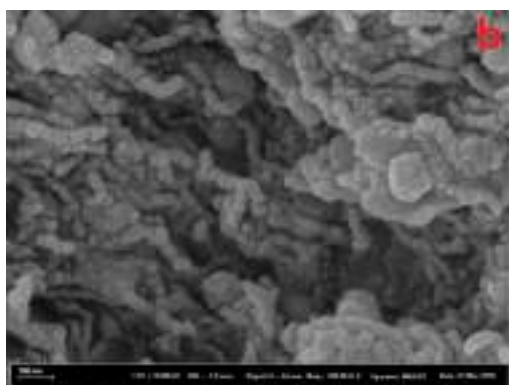
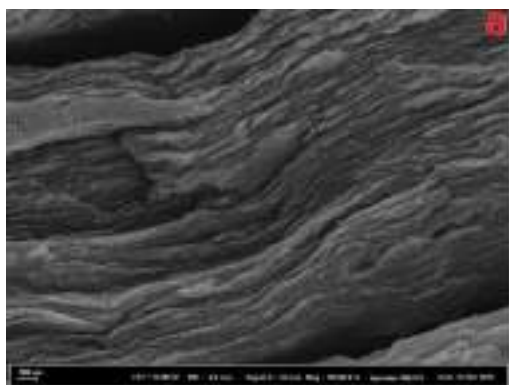


Fig. 1.1. SEM images of (a) rGO, (b) PdNPs, (c) and (d) Pd@rGO and its magnification view, (e) and (f) TEM image of Pd@rGO nanocomposite and its magnification view and (g) EDX spectra of Pd@rGO nanocomposite.

The zeta potential of rGO, Pd-rGO nanocomposite in aqueous solution is measured in a Dynamic Light Scattering (DLS) instrument to observe the amount of stability (Fig. 1.2). The rGO shows an average zeta potential value of -16.6 mV explaining the existence of a sufficient amount of negative charge density arising from the carboxylic groups present in the rGO. Compared to rGO the synthesized Pd@rGO nanocomposite exhibits a zeta potential

of -25.3 mV. The presence of PdNPs in GO contributed to the increase of repulsion forces and to the facilitation of the stability of the nanocomposite.

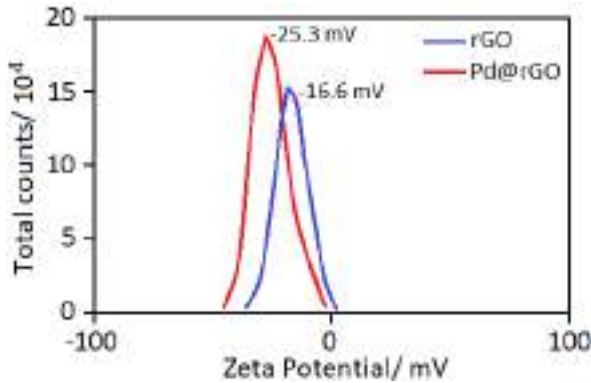


Fig. 1.2. Zeta potential of rGO and Pd@rGO aqueous dispersion.

To identify the crystalline structure and monitor the chemical alteration of the graphite during bio-reduction proces, XRD analyses were carried out.

The purity and crystallinity nature of the synthesized rGO and Pd@rGO nanocomposite were characterized by X-ray diffraction analysis. As seen in Fig. 1.3a, a sharp peak at 11.25° correspond to (001) planes represents the successful oxidation of graphite to GO. After bio-reduction process, the diffraction peak of GO shifted to around 2θ of 24.0° which correspond to (002) planes of rGO (Fig. 1.3b). In case of Pd@rGO, owing to the inclusion of PdNPs in rGO, the broad diffraction peak of rGO was faded away and three diffraction peaks were observed. The diffraction peaks settled at 39.98°, 46.47° and 67.88° which can be indexed the PdNPs (ICDD: 00-005-0681) planes distributed on rGO as (111), (200) and (220), respectively. In the light of XRD patterns, it was concluded that Pd@rGO nanocomposite was successfully synthesized through one-step.

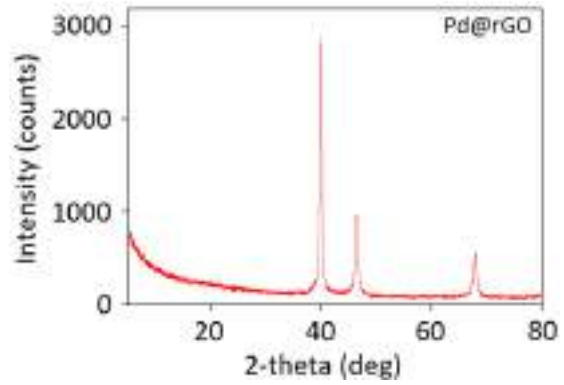
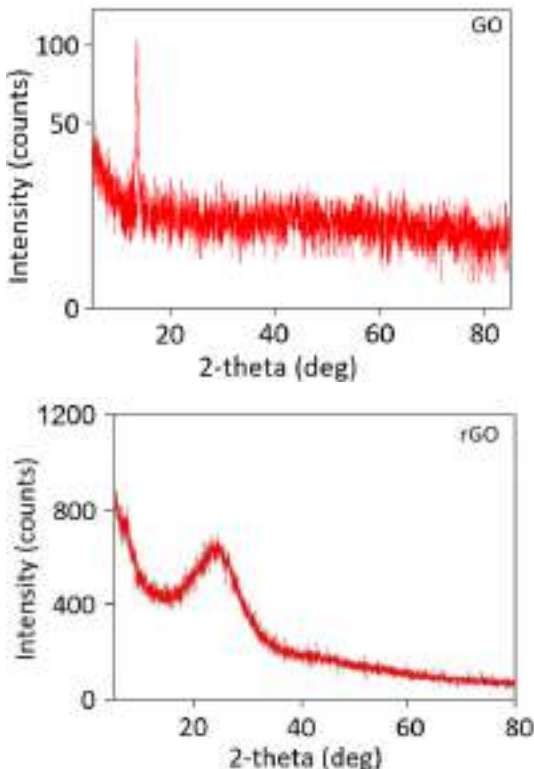


Fig. 1.3. XRD spectra of GO,rGO and Pd@rGO nanocomposite.

To approve the bio-genesis of the rGO and Pd@rGO nanocomposite, UV-Vis analyses was also performed (Fig. 1.4) The UV-Vis spectra of GO showed two absorption wavelengths at around of 230 and 305 nm which were chiefly owing to $\pi \rightarrow \pi^*$ of C = C and $n \rightarrow \pi^*$ of C = O, respectively. In UV-Vis spectra of rGO, the maximum peak at 230 nm was shifted 260 nm and the broad absorption peak at around 305 nm was vanished due to reduction C = O functional group of GO. In case of Pd@rGO nanocomposite, the attendance of Pd nanoparticles to rGO was caused to red shifting in absorption peak to 280 nm.

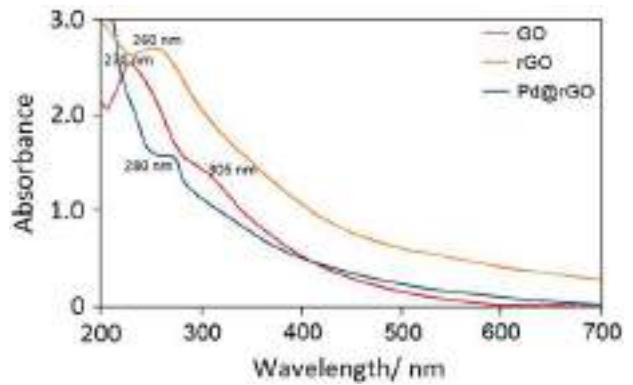


Fig. 1.4. UV-Vis absorption spectra of GO, rGO and Pd@rGO nanocomposite.

References

Kayan, D.B., Turunc, E. (2021). Bio-reduced GO/Pd nanocomposite as an efficient and green synthesized catalyst for hydrogen evolution reaction. International Journal of Energy Research, 1-11. <https://doi.org/10.1002/er.6597>.



İridyum Katkılı Grafen Yüzey Üzerinde NH₃ Ayrışma Reaksiyonunun Mekanistik İncelemesi: Yoğunluk Fonksiyonel Teori Yaklaşımı

Onur Karaman^{1*}

^{1*} Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3672-1865), onurkaraman@akdeniz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932871)

ATIF/REFERENCE: Karaman, O. (2021). İridyum Katkılı Grafen Yüzey Üzerinde NH₃ Ayrışma Reaksiyonunun Mekanistik İncelemesi: Yoğunluk Fonksiyonel Teori Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 556-561.

Öz

Amonyak (NH₃) ayrışma reaksiyonu, CO_x emisyonu içermeyen H₂ üretmedeki potansiyel kullanımı nedeniyle önemlidir. NH₃ ayrışma reaksiyonunda pek çok farklı katalizör kullanılmasına rağmen, metal gömülü grafen sistemler, deneysel olarak sentezlenebilir ve sadece birkaç metal atomu kullanılmasından dolayı tek atom kristal yüzeylere göre çok daha ucuzdur. Bu çalışmada, İridyum (Ir) katkılı grafen yüzey üzerinde gerçekleşen NH₃ ayrışma reaksiyon mekanizması yoğunluk fonksiyonel teorisi (YFT) kullanılarak incelenmiştir. Grime D2 düzeltmesi, adsorbe edilmiş yapılar ve yüzey arasındaki etkileşimlerle indüklenebilecek Van der Waals etkileşimleri için kullanılmıştır. Öncelikle, Ir katkılı grafen yüzey üzerinde Bader yük analizi yapılmış ve elde edilen yük yoğunluğu bölgeleri elektron yoğunluk farklı ile gösterilmiştir. Ir katkılı grafen yüzey üzerinde NH_x (x= 0→3) türlerinin adsorpsiyonu ve onların parçalanmış NH_x + yH (x+y=3) ikili bağlanma doğası araştırılmıştır. Son olarak, Ir katkılı grafen yüzey üzerinde NH₃ ayrışması için reaksiyon mekanizması önerilmiş ve her bir reaksiyon adımı için ihtiyaç duyulan enerji bariyerleri CINEB metodu yoluyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Ir katkılı grafenin, NH₃ ayrışma reaksiyonu için yüksek katalitik aktivite sergilediğini göstermiştir. Ayrıca NH → N+H adımı, genel reaksiyonun hız belirleyici adımı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu bilgiler ışığında, NH₃ ayrışması için, Ir katkılı grafen malzemeler üzerinde farklı stratejilerin ve teknolojilerin geliştirilmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İridyum Katkılı Grafen, Bağlanma Enerjisi, NH₃ Ayrışması, Tek-Atom Katalizör, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi.

Mechanistic Investigation of NH₃ Decomposition Reaction on Iridium-Doped Graphene Surface: Density Functional Theory Approach

Abstract

Ammonia (NH₃) decomposition reaction is of great importance owing to its potential use in CO_x-emission-free H₂ production. Although many different catalysts are used in the NH₃ decomposition reaction, metal-embedded graphene systems can be synthesized experimentally and are much cheaper than single-atom crystal surfaces due to the use of only a few metal atoms. In this study, NH₃ decomposition reaction on Iridium (Ir) doped graphene surface was investigated using density functional theory (DFT). Grime D2 correction was used for Van der Waals interactions that can be induced by interactions between adsorbed structures and the surface. Metal-embedded graphene systems can be synthesized experimentally and are much cheaper than single-atom crystal surfaces due to the use of only a few metal atoms. First of all, bader charge analysis was performed on the Ir doped graphene surface and the obtained charge density regions were shown with electron density difference. The adsorption of NH_x (x = 0 → 3) species on the ir doped graphene surface and their fragmented NH_x + yH (x + y = 3) double bonding nature were investigated. Finally, the reaction mechanism for NH₃ decomposition on the Ir doped graphene surface is proposed and the energy barriers required for each reaction step are calculated by the CINEB method. The results obtained showed that the Ir doped graphene exhibits high catalytic activity for the NH₃ decomposition reaction. In addition, the NH → N + H step was determined to be the rate determining step of the overall reaction. In the light of this information obtained, it is concluded that different strategies and technologies can be used on the Ir doped graphene materials for NH₃ decomposition.

Keywords: Iridium Doped Graphene, Binding Energy, NH₃ Decomposition, Single Atom Catalyst, Density Functional Theory.

* Sorumlu Yazar: onurkaraman@akdeniz.edu.tr

1. Giriş

Sürekli artan fosil yakıt tüketimi, hava kirliliği de dahil olmak üzere birçok çevre sorununa neden olmuştur. "Hava kirliliği" hem insan sağlığı hem de ekosistem için dünya çapında bir aciliyet algısıyla ele alınması gereken bir zorluk olmuştur (Huang ve ark., 2017; Shao ve ark., 2019; Karaman ve ark., 2020). NH₃ molekülü, fosil yakıt yakma reaksiyonları, kimyasal işleme ve endüstriyel üretimden kaynaklanan en yaygın toksik çevre kirleticileridir (Banavali ve ark., 2002). NH₃, karakteristik keskin kokulu renksiz bir gazdır ve sodyum bikarbonat veya asetik asit ile reaksiyona sokularak uygun şekilde kokusu giderilebilir. Bu gaz son derece tehlikeli maddedir ve çevre ve insan sağlığı için potansiyel tehditlerdir. Bu nedenle, bu zehirli gazın uzaklaştırılmasına yönelik verimli nanomalzemelerin geliştirilmesi önem taşımaktadır zorunludur. Bu zehirli gazları kontrol etmek veya ortadan kaldırmak için geliştirilen yeni teknolojiler ve uygun malzemeler, araştırmaların büyük ilgisini çekmiştir (Chen ve ark., 2018). Geleneksel nitrifikasyon-denitrifikasyon yoluyla NH₃ artımının nispeten düşük etkinliği nedeniyle, kimyasal katalizle NH₃ giderimi yeni bir trend haline gelerek literatürde TiO₂ (Lee ve ark., 2002) ve ZnFe₂O₄ (Zou ve ark., 2018) gibi metal içerikli katalizörlerin NH₃'ün ayrışma reaksiyonunda kullanılabilirliğine yönelik araştırmalar yer almaktadır.

Son yıllarda, alternatif bir yol olarak hidrojen üretmek için katalitik NH₃ ayrışması araştırılmaktadır. NH₃, yüksek gravimetrik (ağırlıkça %17.7H₂) ve hacimsel H₂ yoğunluğu, yüksek enerji yoğunluğu, hafif koşullar altında sıvı hal (atmosfer basıncında -33.4 ° C veya 20 ° C'de 0.8 MPa) gibi birçok avantaja sahiptir (Schüth ve ark., 2012). Dahası, proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC) için hidrojen kaynağı olarak (2NH₃ (g) ⇌ 3H₂ (g) + N₂ (g)) NH₃'ten CO_x içermeyen H₂ üretimi büyük ilgi çekmiştir. Bununla birlikte, hidrojen enerjisi altyapısında, yüksek verimli ve düşük maliyetli katalizörün NH₃'ün hidrojene ayrışması için uygun olması kritiktir (Zamfirescu ve Dincer, 2008; Klerke ve ark., 2008). Şimdiye kadar, bazı araştırmacılar NH₃'ün ayrışma reaksiyonu için etkili teknikler önerilmesine ve NH₃'ün ayrışması için yüksek performanslı katalizörler geliştirmeye büyük önem vermişlerdir (Huang ve ark., 2019; Chu ve ark., 2019; Aghaei ve ark., 2018). Geçtiğimiz yıllarda, amonyak ayrışması için yüksek verimli bimetalik katalizörler geliştirmek için büyük çabalar sarf edilmiştir. Zhang ve ark. (2008) tarafından yapılan araştırmada yüksek Co / Fe oranına sahip Fe-Co nano partiküllerini destekleyen karbon nanotüplerin amonyak ayrışması için efektif olduğu gözlemlenmiştir (Zhang ve ark., 2008). Lorenzut ve ark. (2012), bimetalik Fe₅Mo₅ / YSZ katalizörlerinin NH₃ ayrışmasında, monometalik Fe₁₀ / YSZ ve Mo₁₀ / YSZ katalizörlerinden daha yüksek katalitik aktiviteye sahip olduğunu göstermişlerdir (Lorenzut ve ark., 2012).

Metallerin ve alaşımların katalitik performansları, Ru (Ju ve ark., 2017), Pt (Yin ve ark., 2014), Ir (Choudhary ve ark., 2001), Pd (Yin ve ark., 2004), Rh (Yin ve ark., 2004), Fe (Hu ve ark., 2018), Ni (Su ve ark., 2017), Co (Varisli ve Kaykac, 2012), Ni-Pt (Chellappa ve ark., 2002), Co-Mo (Ji ve ark., 2014), Fe-Mo (Lorenzut ve ark., 2012) ve Fe-Co (Zhang ve ark., 2008) NH₃ ayrışması için kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Qiao ve ark., 2011). Soy metallerin çeşitli iki boyutlu (2D) substratlara atomik düzeyde katılınması, düşük sıcaklıklarda dahi olağanüstü elektrokatalitik aktiviteye ulaşılması mümkün kılar. Bu nedenle, katalizör ile güçlü bir şekilde etkileşime girerek, yeniden birleşme/kümelenme gibi problemlerden kaçınmak için uygun bir

substrat tercih edilmelidir (Akça ve ark., 2021). Ayrıca, katalizörün elektrokatalitik performansı, tek-atom katalizörlerin (SAC) yüksek spesifik yüzey alanına sahip bir substrat üzerine atomik olarak dağılmasıyla artırılabilir (Novoselov ve ark., 2005). Substrat üzerine sabitlenmiş/gömülü SAC'lerin kullanımı, metal atomunun kullanımının etkinliğini maksimize eder, böylece geleneksel metal nanopartikül katalizörlerine kıyasla katalitik performansı artırır (Lin, 2016).

2D tek tabakalı karbonlu malzemelerden biri olan grafen, üstün elektriksel iletkenlik, benzersiz optik özellikler, olağanüstü özgül yüzey alanı ve kontrol edilebilir gözenekli yapı gibi olağanüstü fizikokimyasal özellikleri nedeniyle heterojen katalizörler için en umut verici destekleyici malzemelerden biri olarak kabul edilmektedir (Karaman, 2021; Karaman ve ark., 2021). SAC'ler alanında, destek-katalizör olarak grafen türevlerinin potansiyel kullanımının araştırılması alanında dikkate değer bir ilerleme kaydedilmiştir (Akça ve ark., 2021).

Grafen mimarisine tek metal atomlarının katılması, katalizörün elektrokatalitik performansını artırmak için etkili bir yöntemdir. Son yıllarda literatürde yayınlanan, diğer elektrokimyasal reaksiyonların yanı sıra NH₃ ayrışma reaksiyonu için Mn, Al, Cu, Fe, Pt ve Au-katkılı / gömülü grafen katalizörlerinin üstün katalitik aktivitesini gösteren çalışmalar bulunabilir (Uma ve ark., 2018; Song ve ark., 2011; Jiang ve ark., 2018; Lu ve ark., 2015; Liu ve ark., 2015). Metal nanopartikül ile destek etkileşimi arasındaki güçlü ilişkiyi göz önünde bulundurarak, metal destekli hibritlerin çeşitli kombinasyonları araştırılmalı ve teorik olarak modellenmelidir.

Soy metallerden biri olan iridyum, diğer soy metallerden nispeten daha ucuz olan en umut verici katalizörlerden biri olarak kabul edilmektedir (Akça ve ark., 2021). İridyum, reaktif mononükleer komplekslerde kolaylıkla bulunabildiği ve birçok redoks reaksiyonuna karşı elektrokatalitik aktiviteye sahip olduğu için metal olarak seçilmiştir. Karşılık gelen reaksiyon mekanizması ve yolları, yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) hesaplamaları ile modellenmiştir. Bu teorik çalışma, grafen destekli SAC'ler tarafından NH₃ ayrışma reaksiyonunun katalitik mekanizmasını aydınlatmanın yolunu açacaktır. Bu çalışmanın en önemli katkılarından biri, NH₃ ayrışma reaksiyonunda kullanılacak yüksek performanslı iridyum katkılı grafen (Ir-G) hibrit katalizörlerin tasarımında öncü olmasının yanı sıra, reaksiyon mekanizmasına teorik bilgiler vermesidir.

2. Materyal ve Metot

Tüm hesaplamalar yoğunluk fonksiyonel teorisine dayalı Quantum Espresso 6.3 kullanılarak yapılmıştır (Akça, 2020; Akça, 2021). GGA-PBE bir değişim fonksiyonel korelasyonu olarak seçilmiştir (Giannozzi ve ark., 2009). Elektronik yapıyı analiz etmek için PAW (projektör artırılmış dalga) potansiyeli kullanılmıştır (Kresse ve Joubert, 1999). Tüm geometrik hesaplamalar sırasında dalga uzaması (Kesme) ve kinetik kesme enerjisi için sırasıyla 80 Ry ve 800 Ry dikkate alınmıştır. Grimme-D2 terimi, zayıf ve Wander valls etkileşimlerini gözlemlemek için sisteme yerleştirilmiştir (Grimme ve ark., 2010). Geometrik optimizasyon sırasında kuvvet ve enerji yakınsaması için kriter olarak sırasıyla 1x10⁻⁵ Ry / atom ve 1x10⁻⁶ Ry / atom kullanılmıştır. Elektronik yapı etkileşimleri için 14x14x1 Brillouin bölgesi örnekleme ve geometrik optimizasyonlar için 4x4x1 Monkhorst-Pack k-noktası kullanılmıştır. 15 Å uzunluğunda üç boyutlu bir kutuda gaz hesaplamaları yapılmıştır. Bader yük analizi kullanılarak kısmi atomik yükler

hesaplanmıştır. Grafen yüzeylerindeki atomik ve moleküler yapıların (adsorbat) adsorpsiyon enerjisi aşağıdaki E_{ads} , Eşitlik 1. kullanılarak hesaplanmıştır;

$$E_{ads} = E_{adsorbat/yüzey} - (E_{yüzey} + E_{adsorbat}) \quad (1)$$

$E_{adsorbat/yüzey}$, grafen yüzeyindeki atomik ve moleküler sistemin toplam enerjisidir; $E_{yüzey}$, optimize edilmiş grafen katmanının toplam enerjisidir; ve $E_{adsorbat}$, gaz fazındaki optimize edilmiş atomik ve moleküler yapıların toplam enerjisidir. Reaksiyonda geçiş durumu için elastik bant hesaplamaları yapılmıştır (Jónsson ve ark., 1998). Geçiş geometrisi ve ihtiyaç duyulan enerji CI-NEB (tırmanan görüntüdürtmeli elastik bant) ile hesaplanmıştır (Henkelman ve ark., 2000).

Bu çalışmada sırasıyla Eşitlik 2. ve Eşitlik 3. kullanılarak reaksiyon ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.

$$E_r = E_{BD} - E_{SD} \quad (2)$$

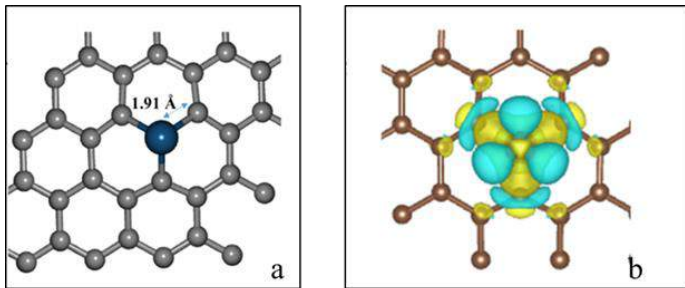
$$E_a = E_{GD} - E_{BD} \quad (3)$$

E_r ve E_a sırasıyla reaksiyon ve aktivasyon enerjilerini temsil eder. E_{BD} ve E_{SD} sırasıyla başlangıç enerjisini ve son enerjiyi temsil eder. E_{GD} , E_{BD} ve E_{SD} arasındaki iletim enerjisidir. Tüm geometrik konfigürasyon ve bağ uzunlukları için Avogadro (Hanwell ve ark., 2012) ve Burai yazılımı kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Ir katkılı grafen yüzey

Hesapsal verilerin yeterli doğruluğunu sağlamak için, Ir katkılı grafen yüzeyin en minimum enerjili geometrisi araştırılmıştır. Öncelikle 32 karbon (C) atomundan oluşan saf grafen yüzey inşa edilmiştir. Grafen yüzey optimize edildiğinde en yakın C-C arasındaki bağ mesafesi 1.42 Å hesaplanmıştır. Bu değer literatürde daha önce yapılmış çalışmalar ile tutarlıdır (Akça ve ark., 2021). Grafen yüzeyin merkezinden tek bir karbon atomu çıkarılıp yerine Ir atomunun katılanması ile Ir katkılı grafen yüzey elde edilmiştir. Şekil 1.(a)'da optimize edilmiş IrG yüzey gösterilmiştir. Ir katkılı grafen yüzey için elde edilmiş bazı önemli parametreler Tablo 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. (a) IrG yüzey ve (b) IrG yüzeyin elektron yoğunluğu farkı (EYF) haritası (±0.004 au)

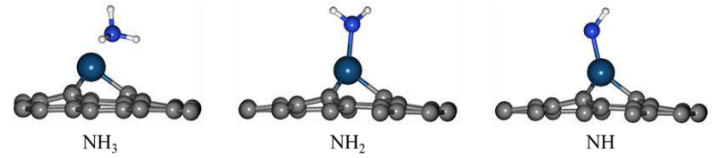
Tablo 1. IrG yüzey için hesaplanmış parametreler

Parametreler	Değerler
Bağ uzunluğu (Å) (Ir-C)	1.91
Manyetik momentum (μ_B)	0
Bağlanma Enerjisi (E_B) (eV)	-9.05

Bader yük analizine bağlı olarak, IrG yüzeyin yük yoğunluğu haritası Şekil 1.(b)'de gösterilmiştir. EYF haritası üzerinde görülen sarı ve mavi bölgeler sırasıyla kazanılan ve kaybedilen elektronları göstermektedir. Ir ve en yakın karbon atomları arasındaki sarı bölgeler güçlü kimyasal bağlanmaya işaret etmektedir. Ir atomu üzerinde görülen mavi bölgeler ise Ir atomunun elektron kaybetmesi sonucu oluşan pozitif yük yoğunluğunu göstermektedir. Hesaplama sonuçları Ir atomunun +0.81|e| yüke sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca Ir atomu üzerindeki pozitif yük yoğunluğu IrG katalizörün katalitik aktivitesi ve seçiciliği üzerinde anahtar rol üstlenmektedir.

3.2. IrG yüzey üzerinde NH_x ($x=1 \rightarrow 3$) türlerinin bağlanması

Katalizör yüzeyleri üzerinde atomik veya moleküler yapıların kararlı bağlanma geometrilerinin elde edilmesi, reaksiyon adımlarının gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan enerji bariyerlerinin elde edilmesi için oldukça önemlidir. IrG yüzey üzerinde NH_x türlerinin en kararlı bağlanma geometrileri Şekil 2.'de gösterilmiştir.

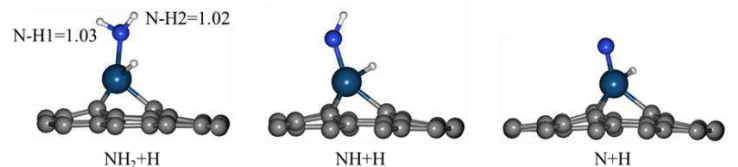


Şekil 2. IrG yüzey üzerinde NH_x ($x=1 \rightarrow 3$) türlerinin optimize edilmiş bağlanma geometrileri

NH_3 için, IrG yüzeye NH_3 molekülü N tarafından bağlanmayı tercih etmektedir. N ve H atomları arasındaki bağ mesafeleri 1.03 Å elde edilmiştir. IrG yüzeye NH_3 molekülünün bağlanma enerjisi -1.15 eV'dir. NH_2 için, IrG yüzey üzerinde NH_2 molekülünün en kararlı bağlanma geometrisi Ir atomu üzerindeki bölgedir. Bu bağlanma geometrisinde NH_2 molekülü azot yoluyla yüzey bağlanmıştır. Ayrıca iki hidrojen atomu neredeyse yüzeye paralel konumdadır. N ve H atomları arasındaki bağ uzunlukları 1.02 Å elde edilmiştir. IrG yüzeye NH_2 molekülünün bağlanma enerjisi -3.83 eV olarak hesaplanmıştır. NH için, NH molekülü Ir atomu üzerinde azot tarafından yüzeye bağlanmaktadır. Bu geometride N-H arasındaki bağ mesafesi 1.02 Å elde edilmiştir. NH molekülünün IrG yüzeye bağlanma enerjisi 3.84 eV belirlenmiştir.

3.3. IrG yüzey üzerinde $NH_x + yH$ ($x+y=2$) türlerinin bağlanması

Bu bölümde yüzey üzerinde birden fazla atomik veya moleküler yapıların bağlanma doğası araştırılmıştır. Şekil 3.'de $NH_x + yH$ türlerinin en kararlı bağlanma geometrileri gösterilmiştir.



Şekil 3. IrG yüzey üzerinde $NH_x + yH$ ($x+y=2$) türlerinin optimize edilmiş bağlanma geometrileri.

NH_2+H için, IrG yüzey üzerinde NH_2 ve H atomları Ir atomuna birlikte bağlanmayı tercih etmektedir. Bu geometride N-H₁, N-H₂ ve Ir-H arasındaki bağ mesafeleri sırasıyla 1.03 Å, 1.02 Å ve 1.68 Å olarak belirtilmiştir.

Å elde edilmiştir. NH_2+H 'nin IrG yüzey üzerindeki ikili bağlanma enerjisi -5.22 eV hesaplanmıştır. $NH+H$ için, bu geometride NH ve H atomu Ir atomu civarında birlikte bağlanmayı tercih etmektedir. IrG yüzey üzerinde $N-H$ ve $Ir-H$ arasındaki bağ uzunlukları 1.03 Å ve 1.61 Å'dür. Ayrıca IrG yüzey üzerinde optimize edilmiş ve $NH+H$ türünün bağlanma enerjisi -6.04 eV elde edilmiştir.

$N+H$ için, daha önce elde edilmiş geometrilere benzer olarak N ve H atomları Ir atomuna bağlanmayı tercih etmektedir. Optimize edilmiş geometride $Ir-N$ ve $Ir-H$ arasındaki bağ uzunlukları sırasıyla 1.72 Å ve 1.63 Å elde edildi. Ayrıca IrG yüzey $N+H$ türünün bağlanma enerjisi -5.89 eV elde edilmiştir.

3.4. IrG yüzey üzerinde NH_3 'ün ayrışma mekanizması

Ir katkılı grafen yüzey üzerinde NH_3 ayrışması genellikle azot atomuna bağlı hidrojen atomlarının ard arda koparılması ile araştırılmaktadır. Genel reaksiyon mekanizması Tablo 2.'de verilmiştir.

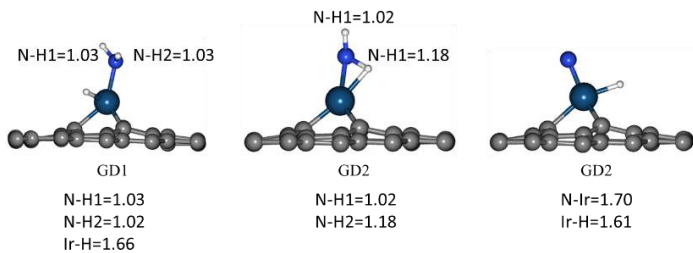
Tablo 2. NH_3 ayrışma reaksiyon adımları

Reaksiyon adımları	NH_3 ayrışma reaksiyonları
1	$NH_3 \rightarrow NH_2+H$
2	$NH_2 \rightarrow NH+H$
3	$NH \rightarrow N+H$

Genel reaksiyon mekanizmasını oluşturan reaksiyon adımlarının gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan enerji bariyerleri CINEB metodu yoluyla elde edilmiştir. CINEB metodu reaksiyon giren ve reaksiyon sonunda oluşan ürün için aktivasyon enerjilerinin hesaplanması ve geçiş durum geometrilerinin elde edilmesine müsaade eder.

3.4.1. IrG yüzey üzerinde $NH_3 \rightarrow NH_2+H$ 'ün ayrışması

Katalizör yüzeyi üzerinde gerçekleşen bir reaksiyon için, reaksiyona giren ve reaksiyon sonunda elde edilen ürünlerin en kararlı geometrilerinin elde edilmesi, aktivasyon enerjisinin hesaplanması için oldukça önemlidir. Bu nedenle NH_3 ayrışması için, başlangıç (BD) ve son durum (SD) geometrileri önceki bölümde verilen bağlanma geometrileri yoluyla belirlenmiştir. Öncelikle, NH_3 IrG yüzeye Ir atomu civarında bağlıdır (Şekil 2). NH_3 'ün üç $N-H$ bağından biri kırıldığında NH_2+H meydana gelir (Şekil 3). Bu nedenle reaksiyonun birinci adımı için NH_3 ve NH_2+H sırasıyla reaksiyonun başlangıç ve son durumu olarak düşünülmüştür. Birinci geçiş durumunda (GD1), IrG yüzeye bağlı NH_3 molekülünden tek bir hidrojen atomu uzaklaşır ve karşıt bölgede yine Ir atomuna bağlanmaktadır. Tüm geçiş durumları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. IrG yüzey üzerinde tüm geçiş durumlarının yandan görünüşü ve bağ uzunlukları

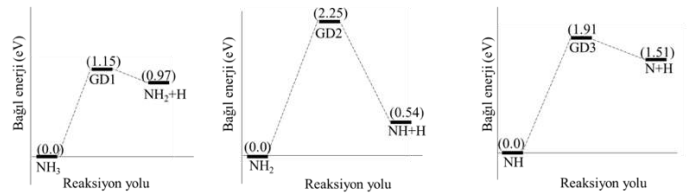
IrG yüzey üzerinde parçalanmış hidrojen atomu ile azot arasındaki mesafe 2.18 Å elde edilmiştir. Reaksiyon enerjilerine göre, $NH_3 \rightarrow NH_2+H$ reaksiyonunun gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan enerji 1.15 eV hesaplanmıştır. Ayrıca bu reaksiyon 0.97 eV pozitif reaksiyon enerjisi ile endotermik olarak gerçekleştiği görülmüştür.

3.4.2. IrG yüzey üzerinde $NH_2 \rightarrow NH+H$ 'ün ayrışması

NH_2 ayrışması boyunca, IrG yüzeye bağlı NH_2 reaksiyonun başlangıç durumu olarak düşünüldü. Tek bir hidrojen atomunun uzaklaştırılmasından sonra, elde edilen $NH+H$ reaksiyonun son durumu olarak düşünülmüştür. İkinci geçiş durumunda (GD2), IrG yüzey üzerinde azottan 1.78 Å uzaklıkta, hidrojen atomu aktivasyon bariyerini geçerek NH_2 'den kopmaktadır. Geçiş durum geometrisi Şekil 4.'te gösterilmiştir. Dahası, azot ve parçalanmış hidrojen arasındaki mesafe 1.82 Å uzaklıktadır. NH_2 'den tek bir hidrojen atomunun parçalanması için gerekli aktivasyon enerjisi 2.25 eV hesaplanmıştır. Ayrıca 0.54 eV reaksiyon enerjisi bu reaksiyon adımının endotermik olarak gerçekleştiğini göstermektedir.

3.4.3. IrG yüzey üzerinde $NH \rightarrow N+H$ 'ün ayrışması

NH ayrışması için geçiş durum geometrisi Şekil 4.'te gösterilmiştir. Diğer reaksiyon adımlarına benzer olarak Şekil 3. ve Şekil 4.'te gösterilmiş NH ve $N+H$ geometrileri bu reaksiyon adımının başlangıç ve son durum geometrileri olarak düşünülmüştür. Üçüncü geçiş durumunda (GD3), NH 'dan kopan hidrojen ve azot arasındaki uzaklık 2.44 Å'dür. Reaksiyon enerjilerine göre, IrG yüzey üzerinde $NH \rightarrow N+H$ için elde edilen reaksiyon enerjisi 1.51 eV'dir. Pozitif değer bu reaksiyon adımının endotermik olarak gerçekleştiğini göstermiştir. Buna ilaveten IrG yüzey üzerinde bu reaksiyon adımının gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan enerji bariyeri 1.91 eV olarak hesaplanmıştır. Tüm reaksiyon adımları ve ihtiyaç duyulan enerji bariyeri değerlerine ait bağlı enerji diyagramları Şekil 5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5. IrG yüzey üzerinde gerçekleşen tüm olası geçiş durumlarının bağlı enerji diyagramları

4. Sonuç

IrG yüzey üzerinde NH_3 ayrışması yoğunluk fonksiyonel teorisi yoluyla araştırılmıştır. IrG yüzeyin yük yoğunluğu bölgeler elektron yoğunluk farkı haritası yoluyla gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ir atomu civarında önemli bir pozitif yük yoğunluğu oluştuğunu kanıtlamıştır. Bu bölge, NH_3 ayrışması için oldukça yüksek aktivite sergilemektedir. NH_3 , NH_2 ve NH molekülleri kimyasal bağlanma yoluyla IrG yüzeye adsorbe olduğu elde edilmiştir. NH_3 ayrışması için, $NH_3 \rightarrow NH_2+H$ reaksiyonu için $N-H$ bağ aktivasyonu ve NH_2+H ara durumunun oluşması için ihtiyaç duyulan aktivasyon enerjisi 1.15 eV ve reaksiyon enerjisi 0.97 eV elde edilmiştir. $NH_2 \rightarrow NH+H$ reaksiyonu için $N-H$ parçalanması ve $NH+H$ ara durumunun oluşması için ihtiyaç duyulan aktivasyon enerjisi 2.25 eV ve 0.54 eV elde edilmiştir. Son olarak $NH \rightarrow N+H$ reaksiyonun aktivasyon ve reaksiyon

enerjileri sırasıyla 1.91 eV ve 1.51 eV hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların, literatürdeki benzer çalışmalar ile kıyaslanabilir olduğu sonucuna varılmıştır (Genç ve ark., 2018; Yeo ve ark.2014). Ayrıca $\text{NH}_2 \rightarrow \text{NH} + \text{H}$ reaksiyonu genel reaksiyonun hız belirleyici adımı olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, önerilen IrG yüzeyin, NH_3 ayrışma reaksiyonunda kullanılabilecek ideal bir katalizör adayı olduğunu göstermiştir.

5. Teşekkür

Bu yazıda bildirilen sayısal hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, yüksek performans ve hesaplama sistem merkezinde (TRUBA kaynakları) gerçekleştirilmiştir. Araş. Gör. Dr. Aykan Akça'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynakça

- Aghaei, S. M., Monshi, M. M., Torres, I., Zeidi, S. M. J., & Calizo, I. (2018). DFT study of adsorption behavior of NO, CO, NO₂, and NH₃ molecules on graphene-like BC₃: a search for highly sensitive molecular sensor. *Applied Surface Science*, 427, 326-333.
- Akça, A. (2021). Conversion of Methane to Methanol on C-Doped Boron Nitride: A DFT Study. *Computational and Theoretical Chemistry*, 113291.
- Akça, A. (2020). CH₄ dissociation on the Pd/Cu (111) surface alloy: A DFT study. *Open Physics*, 18(1), 790-798.
- Akça, A., Karaman, O., & Karaman, C. (2021). Mechanistic Insights into Catalytic Reduction of N₂O by CO over Cu-Embedded Graphene: A Density Functional Theory Perspective. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*.
- Banavali, R., Chang, M. Y., Fitzwater, S. J., & Mukkamala, R. (2002). Thermal hazards screening study of the reactions between hydrogen cyanide and sulfuric acid and investigations of their chemistry. *Industrial & engineering chemistry research*, 41(2), 145-152.
- Chellappa, A. S., Fischer, C. M., & Thomson, W. J. (2002). Ammonia decomposition kinetics over Ni-Pt/Al₂O₃ for PEM fuel cell applications. *Applied Catalysis A: General*, 227(1-2), 231-240.
- Chen, Y., Ji, S., Chen, C., Peng, Q., Wang, D., & Li, Y. (2018). Single-atom catalysts: synthetic strategies and electrochemical applications. *Joule*, 2(7), 1242-1264.
- Choudhary, T. V., Sivadinarayana, C., & Goodman, D. W. (2001). Catalytic ammonia decomposition: CO_x-free hydrogen production for fuel cell applications. *Catalysis Letters*, 72(3), 197-201.
- Chu, K., Liu, Y. P., Wang, J., & Zhang, H. (2019). NiO nanodots on graphene for efficient electrochemical N₂ reduction to NH₃. *ACS Applied Energy Materials*, 2(3), 2288-2295.
- Genç, A. E., Küçük, H., Alp, I. O., & Akça, A. (2020). Hydrazine decomposition on nickel-embedded graphene. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(58), 33407-33418.
- Giannozzi, P., Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., ... & Wentzcovitch, R. M. (2009). QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of physics: Condensed matter*, 21(39), 395502.
- Grimme, S., Antony, J., Ehrlich, S., & Krieg, H. (2010). A consistent and accurate ab initio parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H-Pu. *The Journal of chemical physics*, 132(15), 154104.
- Hanwell, M. D., Curtis, D. E., Lonie, D. C., Vandermeersch, T., Zurek, E., & Hutchison, G. R. (2012). Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. *Journal of cheminformatics*, 4(1), 1-17.
- Henkelman, G., Uberuaga, B. P., & Jónsson, H. (2000). A climbing image nudged elastic band method for finding saddle points and minimum energy paths. *The Journal of chemical physics*, 113(22), 9901-9904.
- Hu, Z. P., Weng, C. C., Chen, C., & Yuan, Z. Y. (2018). Two-dimensional mica nanosheets supported Fe nanoparticles for NH₃ decomposition to hydrogen. *Molecular Catalysis*, 448, 162-170.
- Huang, Y., Jiao, W., Chu, Z., Wang, S., Chen, L., Nie, X., ... & He, X. (2019). High sensitivity, humidity-independent, flexible NO₂ and NH₃ gas sensors based on SnS₂ hybrid functional graphene ink. *ACS applied materials & interfaces*, 12(1), 997-1004.
- Huang, Z. F., Wang, J., Peng, Y., Jung, C. Y., Fisher, A., & Wang, X. (2017). Design of efficient bifunctional oxygen reduction/evolution electrocatalyst: recent advances and perspectives. *Advanced Energy Materials*, 7(23), 1700544.
- Ji, J., Duan, X., Qian, G., Zhou, X., Tong, G., & Yuan, W. (2014). Towards an efficient CoMo/γ-Al₂O₃ catalyst using metal amine metallate as an active phase precursor: Enhanced hydrogen production by ammonia decomposition. *International journal of hydrogen energy*, 39(24), 12490-12498.
- Jiang, Q., Zhang, J., Ao, Z., Huang, H., He, H., & Wu, Y. (2018). First principles study on the CO oxidation on Mn-embedded divacancy graphene. *Frontiers in chemistry*, 6, 187.
- Jónsson, H., Mills, G., & Jacobsen, K. W. (1998). Nudged elastic band method for finding minimum energy paths of transitions.
- Ju, X., Liu, L., Yu, P., Guo, J., Zhang, X., He, T., ... & Chen, P. (2017). Mesoporous Ru/MgO prepared by a deposition-precipitation method as highly active catalyst for producing CO_x-free hydrogen from ammonia decomposition. *Applied Catalysis B: Environmental*, 211, 167-175.
- Karaman, C., Karaman, O., Atar, N., & Yola, M. L. (2021). Tailoring of cobalt phosphide anchored nitrogen and sulfur co-doped three dimensional graphene hybrid: Boosted electrocatalytic performance towards hydrogen evolution reaction. *Electrochimica Acta*, 380, 138262.
- Karaman, C. (2021). Orange Peel Derived-Nitrogen and Sulfur Co-doped Carbon Dots: a Nano-booster for Enhancing ORR Electrocatalytic Performance of 3D Graphene Networks. *Electroanalysis*.
- Klerke, A., Christensen, C. H., Nørskov, J. K., & Vegge, T. (2008). Ammonia for hydrogen storage: challenges and

- opportunities. *Journal of Materials Chemistry*, 18(20), 2304-2310.
- Kresse, G., & Joubert, D. (1999). From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method. *Physical review b*, 59(3), 1758.
- Lee, J., Park, H., & Choi, W. (2002). Selective photocatalytic oxidation of NH₃ to N₂ on platinumized TiO₂ in water. *Environmental science & technology*, 36(24), 5462-5468.
- Lin, Z. Z. (2016). Graphdiyne-supported single-atom Sc and Ti catalysts for high-efficient CO oxidation. *Carbon*, 108, 343-350.
- Liu, X., Duan, T., Meng, C., & Han, Y. (2015). Pt atoms stabilized on hexagonal boron nitride as efficient single-atom catalysts for CO oxidation: a first-principles investigation. *Rsc Advances*, 5(14), 10452-10459.
- Lorenzuti, B., Montini, T., Bevilacqua, M., & Fornasiero, P. (2012). FeMo-based catalysts for H₂ production by NH₃ decomposition. *Applied Catalysis B: Environmental*, 125, 409-417.
- Lu, Z., Xu, G., He, C., Wang, T., Yang, L., Yang, Z., & Ma, D. (2015). Novel catalytic activity for oxygen reduction reaction on MnN₄ embedded graphene: a dispersion-corrected density functional theory study. *Carbon*, 84, 500-508.
- Malyi, O. I., Sopiha, K., Kulish, V. V., Tan, T. L., Manzhos, S., & Persson, C. (2015). A computational study of Na behavior on graphene. *Applied Surface Science*, 333, 235-243.
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Katsnelson, M. I., Grigorieva, I., ... & Firsov, A. A. (2005). Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene. *nature*, 438(7065), 197-200.
- Qiao, B., Wang, A., Yang, X., Allard, L. F., Jiang, Z., Cui, Y., ... & Zhang, T. (2011). Single-atom catalysis of CO oxidation using Pt 1/FeO x. *Nature chemistry*, 3(8), 634-641.
- Schüth, F., Palkovits, R., Schlögl, R., & Su, D. S. (2012). Ammonia as a possible element in an energy infrastructure: catalysts for ammonia decomposition. *Energy & Environmental Science*, 5(4), 6278-6289.
- Shao, Y., Dodelet, J. P., Wu, G., & Zelenay, P. (2019). PGM-free cathode catalysts for PEM fuel cells: a mini-review on stability challenges. *Advanced materials*, 31(31), 1807615.
- Song, E. H., Wen, Z., & Jiang, Q. (2011). CO catalytic oxidation on copper-embedded graphene. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115(9), 3678-3683.
- Su, Q., Gu, L., Yao, Y., Zhao, J., Ji, W., Ding, W., & Au, C. T. (2017). Layered double hydroxides derived Ni_x(Mg_yAl_zO_n) catalysts: Enhanced ammonia decomposition by hydrogen spillover effect. *Applied Catalysis B: Environmental*, 201, 451-460.
- Uma, K., Chen, S. W., Arjun, N., Pan, G. T., & Yang, T. C. K. (2018). The production of an efficient visible light photocatalyst for CO oxidation through the surface plasmonic effect of Ag nanoparticles on SiO₂@ α -Fe₂O₃ nanocomposites. *RSC advances*, 8(23), 12547-12555.
- Varisli, D., & Kaykac, N. G. (2012). CO_x free hydrogen production over cobalt incorporated silicate structured mesoporous catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 127, 389-398.
- Yeo, S. C., Han, S. S., & Lee, H. M. (2014). Mechanistic investigation of the catalytic decomposition of ammonia (NH₃) on an Fe (100) surface: a DFT study. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(10), 5309-5316.
- Yin, S. F., Xu, B. Q., Zhou, X. P., & Au, C. T. (2004). A mini-review on ammonia decomposition catalysts for on-site generation of hydrogen for fuel cell applications. *Applied Catalysis A: General*, 277(1-2), 1-9.
- Yin, S. F., Zhang, Q. H., Xu, B. Q., Zhu, W. X., Ng, C. F., & Au, C. T. (2004). Investigation on the catalysis of CO_x-free hydrogen generation from ammonia. *Journal of Catalysis*, 224(2), 384-396.
- Zamfirescu, C., & Dincer, I. (2008). Using ammonia as a sustainable fuel. *Journal of Power Sources*, 185(1), 459-465.
- Zhang, J., Müller, J. O., Zheng, W., Wang, D., Su, D., & Schlögl, R. (2008). Individual Fe-Co alloy nanoparticles on carbon nanotubes: structural and catalytic properties. *Nano letters*, 8(9), 2738-2743.
- Zou, C. Y., Ji, W., Shen, Z., Tang, Q., & Fan, M. (2018). NH₃ molecule adsorption on spinel-type ZnFe₂O₄ surface: A DFT and experimental comparison study. *Applied Surface Science*, 442, 778-786.



Risk Analysis with Decision Tree Method on the Use of Electronic Flight Bags: A Case Study on Pilots

Haşim Kafalı^{1*}, Savaş Selahattin Ateş²

^{1*} Muğla Sıtkı Koçman University, Dalaman School of Civil Aviation, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7740-202X), hasimkafali@mu.edu.tr

² Eskişehir Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2462-0039), ssates@eskisehir.edu.tr

(First received 16 April 2021 and in final form 24 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.917743)

ATIF/REFERENCE: Kafalı, H., & Ateş, S.S., (2021). Risk Analysis with Decision Tree Method on the Use of Electronic Flight Bags: A Case Study on Pilots. *European Journal of Science and Technology*, (25), 562-570.

Abstract

The need to reach far afield, which is a part of human life, is provided by different modes of transportation according to the available facilities and needs. Air transport has an important place in our lives with its speed and some features superior to other modes of transport. Air transportation stands out the risk of flight in the transportation modes. Air transportation keeps the important pace with the developing technology every day. Electronic flight bags, which have been used by airline transportation in recent years and are becoming increasingly widespread, are preferred due to their economy and efficiency. In this study, one of the safest modes of transport Risk analysis was performed using the decision tree method on the use of electronic flight bags for airline transportation. With this analysis, it is aimed to reduce risks and maximize airway safety. For the use of the decision tree method was inspired by the SHELL model and the decision tree method was applied on the interaction of electronic flight bags with the environment, hardware, software and live ware. According to the survey analysis results applied to the pilots of the two airline companies, the low-level risk was determined as a result of the interaction of electronic flight bags with electronic flight bags with hardware, while a high risk in interaction with software and humans and a very high risk in interaction with the environment was detected.

Keywords: Electronic Flight Bags, Hazard, Risk Analysis, Decision Tree, Aviation.

Elektronik Uçuş Çantalarının Kullanımının Karar Ağacı Yöntemiyle Risk Analizi: Pilotlar Üzerine Örnek Çalışma

Öz

İnsan yaşamının bir parçası olan bir yerden bir yere ulaşma ihtiyacı elde bulunan imkân ve ihtiyaçlara göre farklı ulaşım modlarıyla sağlanmaktadır. Havayolu taşımacılığı da hız ve diğer ulaşım modlarına göre üstün birtakım özellikleriyle hayatımızda önemli bir yere sahiptir. Havayolu taşımacılığı emniyetli bir taşımacılık olması ile öne çıkmaktadır. Her geçen gün gelişen teknolojiye havayolu taşımacılığı da ayak uydurmaktadır. Havayolu taşımacılığı tarafından son yıllarda kullanılmaya başlanan ve giderek yaygınlaşan elektronik uçuş çantaları ekonomikliği ve verimliliği sayesinde tercih sebebi olmaktadır. Bu çalışmada en emniyetli ulaşım modlarından olan havayolu taşımacılığı için elektronik uçuş çantaları kullanımının üzerine karar ağacı yöntemi ile risk analizi yapılmıştır. Yapılan bu analizle riskleri azaltarak havayolu emniyetini maksimize hale getirmek amaçlanmıştır. Karar ağacı yöntemi kullanımı için tehlike belirlemede SHELL modelinden esinlenilmiş ve elektronik uçuş çantalarının çevre, donanım, yazılım ve insanla olan etkileşimi üstüne karar ağacı yöntemi uygulanmıştır. İki havayolu şirketinin pilotlarına uygulanan anket analiz sonuçlarına göre, elektronik uçuş çantalarının elektronik uçuş çantalarının donanım ile etkileşimi sonucu düşük seviyede risk tespit edilmişken, yazılım ve insanla olan etkileşiminde yüksek risk ve çevre ile etkileşiminde çok yüksek risk tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Uçuş Çantaları, Tehlike, Risk Analizi, Karar Ağacı, Havacılık.

* Corresponding Author: hasimkafali@mu.edu.tr

1. Introduction

Transportation has been one of the most important elements of our lives in terms of making human life easier from the past to the present. From the invention of the wheel to the present, it has renewed itself in continuous development and change, and has taken its place today equipped with the latest technologies (Khan et al., 2018).

In the scope of the development and change processes of the 21st century, it is seen that human beings' search for the sky and space covers an important area among the technological elements. The curiosity of the sky, which has been continuing since the day humanity existed, has reached the depths of space with the developing technology (Puranik et al., 2020).

Many modes of transport make our life easier, however the most advantageous of these in terms of speed and time benefits is undoubtedly air transportation. In its simplest definition of air transportation is the displacement of people, cargo (cargo), and mail from the air with an aircraft to provide space and time benefits. This relocation will not provide any benefit unless it is done safely and will cause many damages to the company and the environment. They apply a safety management system to protect this benefit and prevent possible damages. It is to identify the underlying hazards of the safety management system and to reduce the risks to low or acceptable levels (Carbo and Graham, 2020; Delgado et al., 2020).

Airline transportation is also closely following and applying the developing technology with every passing day. Electronic flight bags, which have been increasingly used in airline transportation in recent years, are a product of developing technology. It is the obligation of airline transportation companies to determine the dangers and risks against the flight safety of these electronic flight bags and to take corrective preventive action against these dangers and risks. Otherwise, it is possible for the company to be damaged by causing an accident or incident, as well as causing great damage to the environment. There are different methods for risk analysis of hazards. One of these methods is the decision tree method. With the decision tree method, it is possible to determine the severity of the incident that may occur as a result of the identified dangers. In this study, a risk analysis has been made using the decision tree method on the use of electronic flight bags.

2. Electronic Flight Bag Definition, Advantages for Airlines

Electronic Flight Bag (EFB) is defined as a system that keeps the information that pilots need during the flight and stored on paper electronically, can be integrated with the avionic systems on the aircraft, and allows the creation and management of documents created during the flight in electronic environment.

In general terms, EFB includes the printed reference documents that pilots carry and use in flights and which can be found in the cockpit fixed inside the aircraft, including the aircraft operating manual, cabin crew operating manual and navigational charts that pilots can use before and during the flight, also called "Flight Bag". They are computer platform applications that will completely replace them over time. In addition, EFB can also incorporate purposeful sub-applications that allow automatic

calculations such as pre-flight performance analysis, which are normally carried out manually and are very important for flight. EFB takes its name from a bag of documents weighing 20-25 kg that pilots carry into the cockpit before each flight. Electronic Flight Bag is an application that digitally replaces these documents. EFB applications are used on tablet computers weighing between 0.5 and 2.2 kg. Thus, the functions of a traditional flight bag can be performed with a tablet fixed to the plane or carried with the pilot. With the cheaper mobile tablet hardware in the last few years, EFB systems have become more cost effective and take place in the world of civil aviation.

The use of EFB has many advantages for airlines. As the transaction sizes of EFBs, the types of applications used, and the content management and distribution systems available in EFB change, the unique benefits of EFBs also change and are updated. In general, the benefits of using EFB are as follows; The reduction in costs and increased efficiency due to the reduction or elimination of operations on printed papers, weight savings and health problems caused by the weight of the bag, reduction of the pilot's workload, easy access to the necessary information when requested, pilots situational awareness, automatic take-off and landing calculations to reduce fuel and maintenance costs (Köse, Ayanoglu, Erel, & Gündüz, 2016).

2.1. Classification and Characteristics of EFB Systems

According to the electronic flight bag equipment features; It is examined in three groups as Class 1, Class 2 and Class 3 (ICAO, 2014).

Class 1 EFB systems;

- They are Commercial- Off - The-Shelf (COTS) -based computer systems that are generally used for flight operations .
- Portable,
- Connected to aircraft power with a certified power source,
- Considered as a controlled PED ,
- Not connected to the mounting device on the plane,
- No aircraft data connection except under certain conditions ,
- These are systems that do not require approval for airworthiness (EASA, 2014).

Class 2 EFB systems;

- They are Commercial- Off - The-Shelf (COTS) -based computer systems that are generally used for flight operations .
- Portable,
- Connected to aircraft power with a certified power source,
- Connected to the aircraft mounting device during normal flight operations,
- Considered as a controlled PED,
- Avionic connection is possible,
- These are systems that require airworthiness approval (EASA, 2014).

Class 3 EFB systems;

- Aircraft airworthiness approval required equipment as installed.
- The intended function and safety interface must be applicable to avionic data sources and other software applications.
- Failures of the interface between EFB and avionic data sources should be evaluated under normal and fault conditions.
- The application's own approval should also be considered when evaluating the reliability and suitability of the software application.
- A limited assessment of human factors should be made.
- EFB hardware resources such as display, keyboard, signal indicators and control buttons should be evaluated (EASA, 2014).

Type A and B software applications do not require airworthiness approval, but must be approved during the operational approval process.

Type A software applications contain data that has already been created and is currently presented in paper format (EASA, 2014). They can belong to any class of equipment, they require operational approval, they do not require airworthiness approval. Type B software applications include dynamic and interactive applications where you can make changes in data and presentations (EASA, 2014). They can be in any class of equipment, they do not require airworthiness approval.

2.2. Documentation

There are documents and manuals including flight manuals, developer guides for EFB software applications and guides for EFB system suppliers.

For installed EFB systems and certified loaded resources, the AFM section or annex should include the following parts (EASA, 2014):

- A statement regarding the suitability of EFB equipment for flight
- Identification of installed hardware
- Appropriate changes and reinforcements for any restrictions

This guide should mainly address the following issues;

- An architectural description for EFB installed components,
 - For the Enhancement Assurance Level of EFB components and any assumptions, limitations, or mitigating factors
 - Necessary information to ensure the development of an accurate, reliable, safe, testable and sustainable software application compatible with the avionics interface and the human machine interface,

Integration procedures between approved software applications and new software applications should be available at least the flight operators authorized institutions and organizations (EASA, 2014).

The guide is designed for use by the EFB system provider and addresses the following guidelines mainly.

- Descriptions of installed EFB resources and their limitations,
 - The intended functions and usage limitations,
 - Features of mounting devices, control and sign panels, display units,
- Characteristics and limitations of safety and security aspects
 - Power source
 - Lithium Battery
 - Data link

The guide should be at least the flight operators in authorized institutions and organizations (ICAO, 2014).

2.3. EFB's Operational Evaluation and Approval Process

The process specified for EFB usage approval is processed below:

2.3.1 Risk assessment

The purpose of this process is to show that the software application provides the same level of integrity and usability. This assessment will be operator specific and is expected to address mainly the following awe.

- Minimizing undetected erroneous application output
- To detect faulty outputs from the software application, in cases where it cannot be detected;
 - Crew tracking
 - Fault scenarios
- Analyzing the operational results of failure scenarios
- Mitigating measures for undesirable situations
- Quality improvement process
 - Reliability of basic data used in practice
 - Application verification and approval controls (EASA, 2014).

2.3.2 Role of the System Provider

System suppliers are obliged to meet the usage requirements of software and hardware of EFB users. Companies are starting to use EFB application; They request compliance reports from the system supplier to obtain the approval of the relevant national authority (DGCA). In order to obtain the approval of the relevant authority, companies have the right to request the documents regarding the use and the training and certification of the relevant employees in the company, as well as the suitability for use report. It is also under the obligation of system suppliers to monitor the innovation and update processes that the operators want to make in EFB software and hardware in a way that does not disrupt the integrity of EFB systems (ICAO, 2014).

2.3.3 Evaluation of Human / Machine Interface Application / Human Factors

When the airline operator uses the EFB system, it is necessary to assess the system's human machine interface compatibility and its use in cockpit resource management. In this evaluation, the entire system should be reviewed and should include the following points;

- Human / machine interface
- Text readability
- Approach / departure and navigation graphic screens
- Application sensitivity
- Closed screen text and content
- Active zones
- Managing when multiple applications and documents are open
- Messages and the use of color
- System error messages
- Data entry scanning and error messages (EASA, 2014).

2.3.4 Flight Crew Working Procedures

- **Procedures for Combining Use of Other Flight Cockpit Equipment and EFB Systems:** Procedures should be determined so that the flight crew know the intended use of EFB systems and other flight equipment. Procedures should explain what the flight crew must do if the information provided by EFB systems is inconsistent with the information provided by other flight equipment. If the EFB system and the information of other existing systems are consistent, it should be clearly determined which source will be used primarily, which source will be used to back up the information produced, and in which cases the data in the backup source will be used (EASA, 2014).
- **EFB Software / Database Revisions in Flight Crew Awareness:** Flight crews should be capable of easily verifying EFB database version activity. However, flight crews are not required to confirm the renewal dates of other databases that do not adversely affect flight operations, such as daily maintenance lists, airport codes. The procedures should specify whether software applications or databases uploaded to the EFB system are up to date should be addressed (EASA, 2014).
- **Workload Reduction / Control Procedures:** Procedures should be established to reduce or control the workload by using the EFB system. Operators should follow these procedures so that the flight crew does not engage in both the aircraft and EFB systems during flight or surface movement. Workload; It should be shared among the flight crew to ensure ease of use and to keep track of other flight equipment and flight. These procedures must be strictly followed for each flight and timely informed which flight crew is not competent to use EFB systems (EASA, 2014).
- **Defining Flight Crew Responsibilities for Performance Calculations:** The procedures should define the new roles the flight crew and dispatch office

may have in the use of performance calculations supported by EFB systems (EASA, 2014).

2.3.5 Quality Assurance

The operator should make a written inventory of the procedures required for the quality control of the EFB system. In addition, the general manager of the EFB system should be determined. Who will be authorized to approve and enable innovations in software and hardware in the EFB system should be defined in detail. Procedures should be determined with the assurance of EFB system integrity in case of EFB system maintenance and malfunction / failure. Maintenance procedures need to include up-to-date information uploading and how this will then be communicated to all users and relevant authorities. There should be backup procedures to be applied in case of system malfunctions and a reporting system to prevent the use of erroneous information by flight crews.

Intervention of unauthorized persons of EFB systems should be prevented. In order to prevent unauthorized intervention, a password should be used and the physical security of the hardware should be ensured. Precautions should also include checking laptop software installations to prevent unauthorized data use (EASA, 2014).

2.3.6 Compliance Monitoring

Airline operators can monitor EFB systems compliance monitoring ORO.GEN .200. should do according to requirements. The aim is to provide confidence that EFB activities and management decisions are made in accordance with all applicable standards, requirements and operational procedures (ICAO, 2014).

2.3.7 EFB Administrator's Role

The role of the EFB manager is an important factor in the functioning of the EFB system. The system administrator must receive the necessary training for the position, and must have sufficient knowledge of system hardware and operating systems. Another task of the EFB Manager is to ensure that the procedures are followed by all company personnel and to be responsible for audits on this issue. EFB managers mainly; It is responsible for all installed applications and the support of these installed applications to EFB users, to check possible security problems related to installed applications, to manage the configuration of software and hardware and to ensure the integrity of the data packets used in installed applications (ICAO, 2014; EASA, 2014).

2.3.8 Flight Crew Training

Special training must be given to the flight crew prior to approval for use. This training should mainly include the following points;

- System architecture overview
- System pre-flight checks
- System constraints
- Special training on the conditions of use of a particular application / under what conditions it cannot be used
- Restrictions on the use of the system in cases where all or a part of the system is out of use
- Cross-check procedures of data entry

- Flight stages when EFB system is in use / not in use
- CRM and human factors considerations in using EFB
- Additional training on new applications or changes in hardware configuration (EASA, 2014).

2.3.9 System Security

The procedures required to ensure system security should be simple, transparent and easy to understand for ease of follow-up and inspection. Typical safety and security defense mainly includes the following aspects;

- Individual system firewalls
- Data encryption and authentication
- Virus scans
- VPN
- Creating a 'White List' for allowed internet domains
- Granting access right on the basis of need
- Forensic tools and procedures
- Virtualization (ICAO, 2014).

2.3.10 Operational Evaluation Test

The operator must conduct an operational assessment test to verify that there is no problem with the elements described above and his satisfaction before the final operational compliance report is issued.

The operator must notify the competent authorities that S/he wishes to conduct an operational evaluation test within a schedule. This planning should mainly include the following issues;

- Start date of an operational assessment test
- Time
- Planes to be covered
- Classes of EFB software and hardware
- Times when there is no back up of documents
 - EFB detailed risk assessment
 - LOFT session program simulator
 - Planned flights for monitoring by authorities (ICAO, 2014).

In cases where the files are initially preserved, the operational evaluation test is carried out in two stages. In the first stage, it is examined whether the filing is parallel to the equivalent filing format in order to prove the accuracy and reliability of the system. This is normally a six-month process, but it can change at the discretion of the national authority. Evaluation; It should also include the control of the applied procedures and the accuracy of the computed data entered from the computers. Reports obtained after the completion of the first phase must be sent to the competent national authority to approve the use of EFB systems instead of the filing format. In the second stage, the files should be kept as a precaution in case EFB systems are out of use or in case of any malfunction. When satisfied with the file backup procedures, the national authority can approve that files are not carried on board. (ICAO, 2014; EASA, 2014).

The operational evaluation test to evaluate whether the operators can start operations without backing up files should include the following elements;

- Detailed examination of operational risk analysis
- Authority's observations on the first line flights
- EFB's normal, LOFT session aimed to verify the availability of an abnormal and emergency operating conditions, such as simulation of (EASA, 2014).

2.3.11 Operational Compliance Summary

All activities carried out by the operator of the EFB system operational supports a harmony in nature, outlining that it is operational should create a compliance report. This report mainly includes the following issues;

- Identifying EFB hardware / platform
- Description of software applications, including approval
- Risk analysis summaries for the applications used
- Human factors assessment for the entire EFB system
 - Pilot workload in single pilot / multi-crew aircraft
 - Size, resolution, symbol and text readability
 - Evaluation of navigation graphic screens
- Education
- EFB manager qualification (EASA, 2014).

3. Material and Method

A decision tree is a decision support tool that uses a tree-like model to show decisions and their likely outcomes. It is a way to show an algorithm. Decision trees are used in research applications, especially in decision analysis, to determine the path to follow to reach a result (Moctezuma et al, 2012; Dozik, 2019).

Decision trees are used in decision analysis, statistics, data mining and artificial learning. In decision analysis, the decision tree can visually describe the decisions and the decision-making process, but in data mining, decision trees are used to describe the data; they do not define decisions (Quinlan, 1990). Decision analysis can be defined as the process of presenting the existing information, values and logic that can be applied to the decision-making process and to the most accurate of at least two options. While doing this, models are created by assigning probability and utility values for every situation that may be encountered. Thus, each situation is expressed by numbers, making it easier to compare the situations (Rios Insua et al, 2018).

Decision trees can be considered to be flowchart-like structures. It can be used to organize and showcase decisions. It has the advantages of using and understanding visually and intuitively. The decision tree has the following elements (Moctezuma et al, 2012; Moshkov, 2021);:

- a) Inner node: This node evaluates or tests a feature.
- b) Branch: Shows the result of the evaluation in the inner node.
- c) End node or result node: Indicates the decision to be addressed.

The decision-making process starts on the basis of the tree model, a specific feature is evaluated in the inner node, the next branch is selected according to the result of the evaluation. The selected branch takes you to another evaluation node, and this process continues until the last node is reached. Values of different traits evaluated in this way lead to different decisions (Moctezuma et al, 2012; Uysal & Güyer, 2014).

Decision trees have different usages. They are used in data analysis and data mining to classify data and their names that are also referred to as classification trees. The purpose of this usage is to obtain information about all the data rather than making a decision on a subject (Uysal & Güyer, 2014).

Another usage of decision trees is risk analysis. For risk analysis, it can be decided to measure the severity of the danger by evaluating the current situation. According to the branches selected as a result of the risk analysis internal nodes, the end node may have very high, high, medium and low level risks. In this

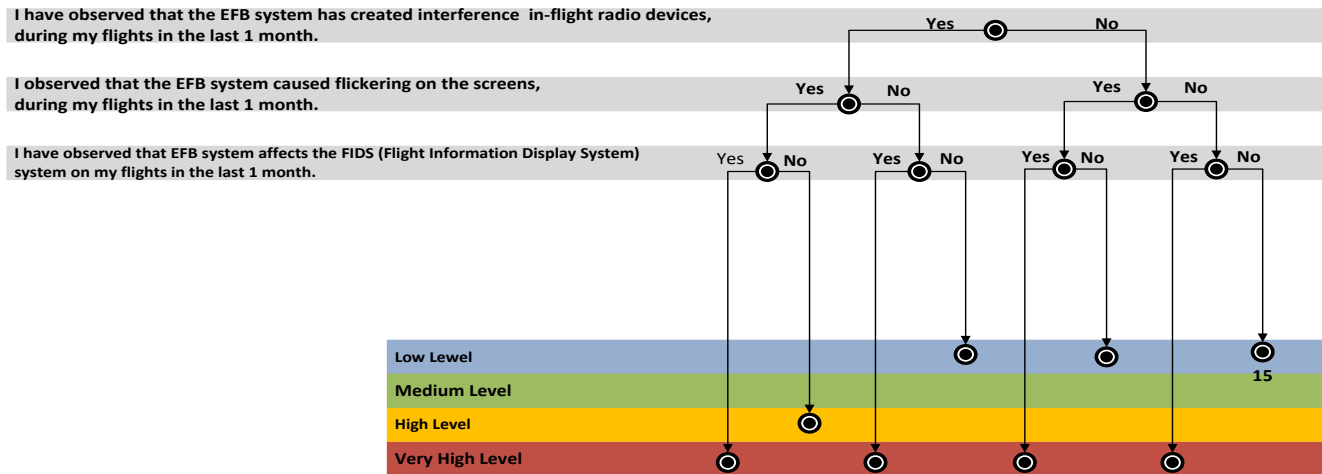
research, the decision tree method was used for the risk analysis of electronic flight bags.

4. Results and Discussion

It is the selection of which areas to be applied as the first step of the decision tree. The selection of these areas was made by using the SHELL model. EFB-vision, EFB-software, EFB-human and EFB-hardware interaction were chosen instead of human-hardware, human-software, human-human and human-environment interaction in SHELL model.

Result nodes were determined by taking expert opinions while evaluating risks in order to achieve correct results. In some result nodes, the risks are considered very high, in some result nodes high, and in some result nodes medium or low level. This decision tree risk studies discussed are shared below (Figure 1).

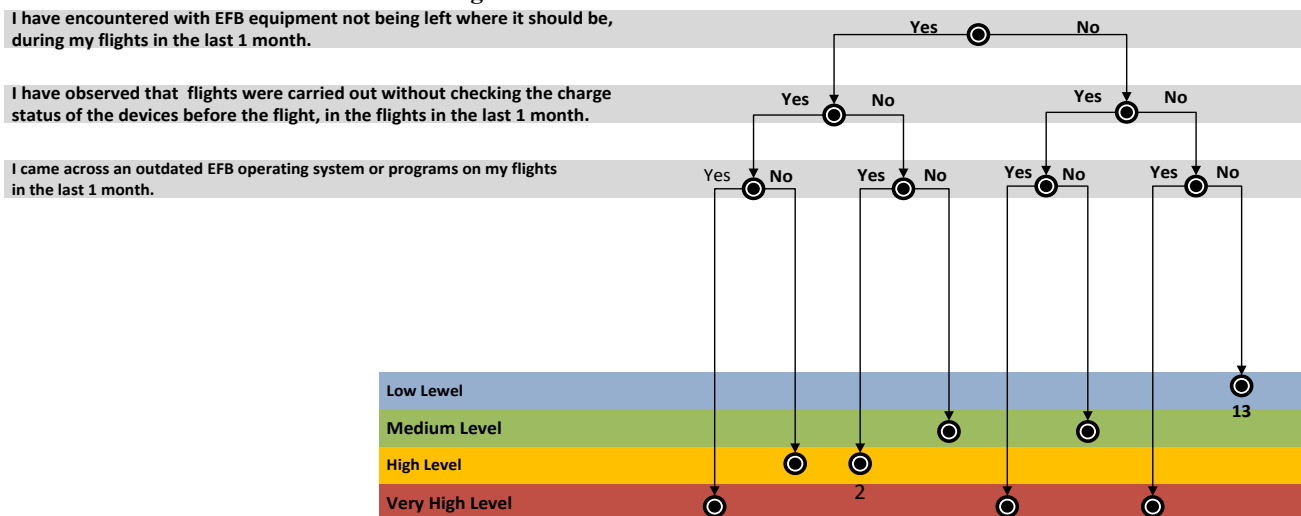
Figure 1. EFB-Hardware Decision Tree



Participants did not answer yes in the questionnaire conducted to 3 questions determined within the scope of EFB and

hardware interaction. This situation can be interpreted as there is no danger in EFB and hardware interaction (Figure 2).

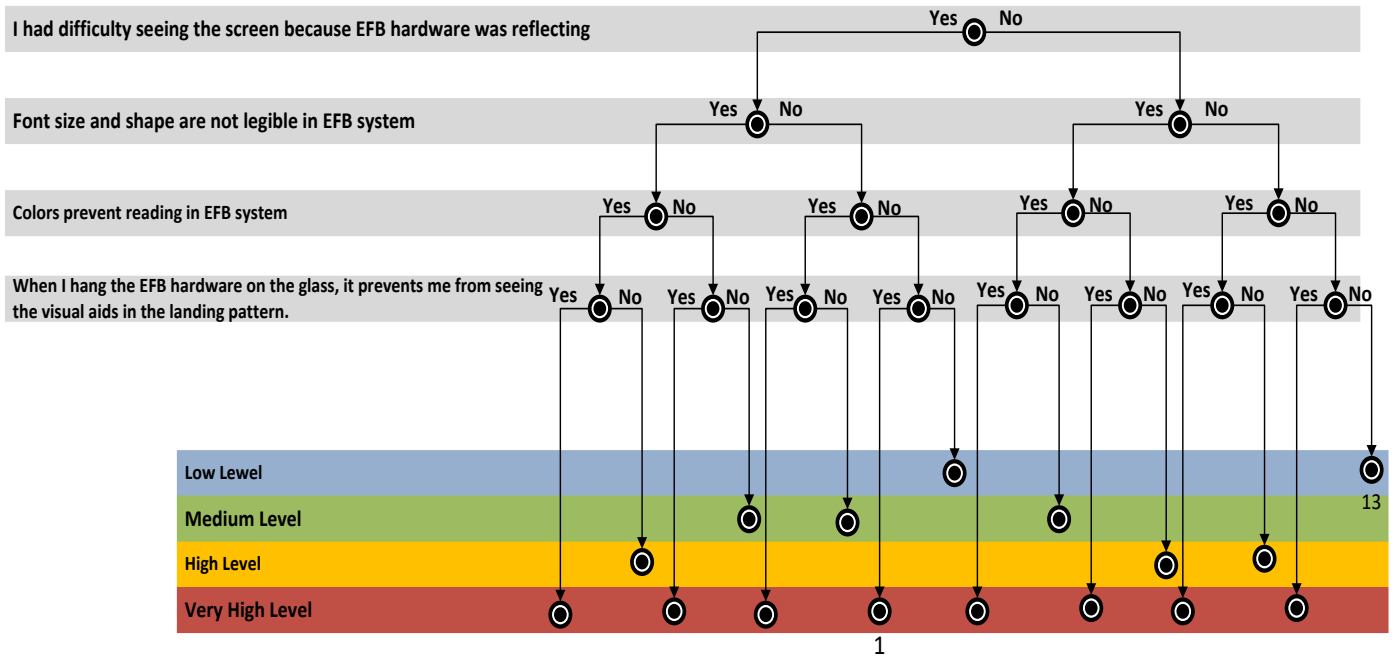
Figure 2. EFB- Human Decision Tree



While 2 participants answered yes to the first and third questions in the questions determined within the scope of EFB and human interaction, all of the participants answered no to the

second question. It is seen that this situation involves a high level of risk in decision tree analysis (Figure 3).

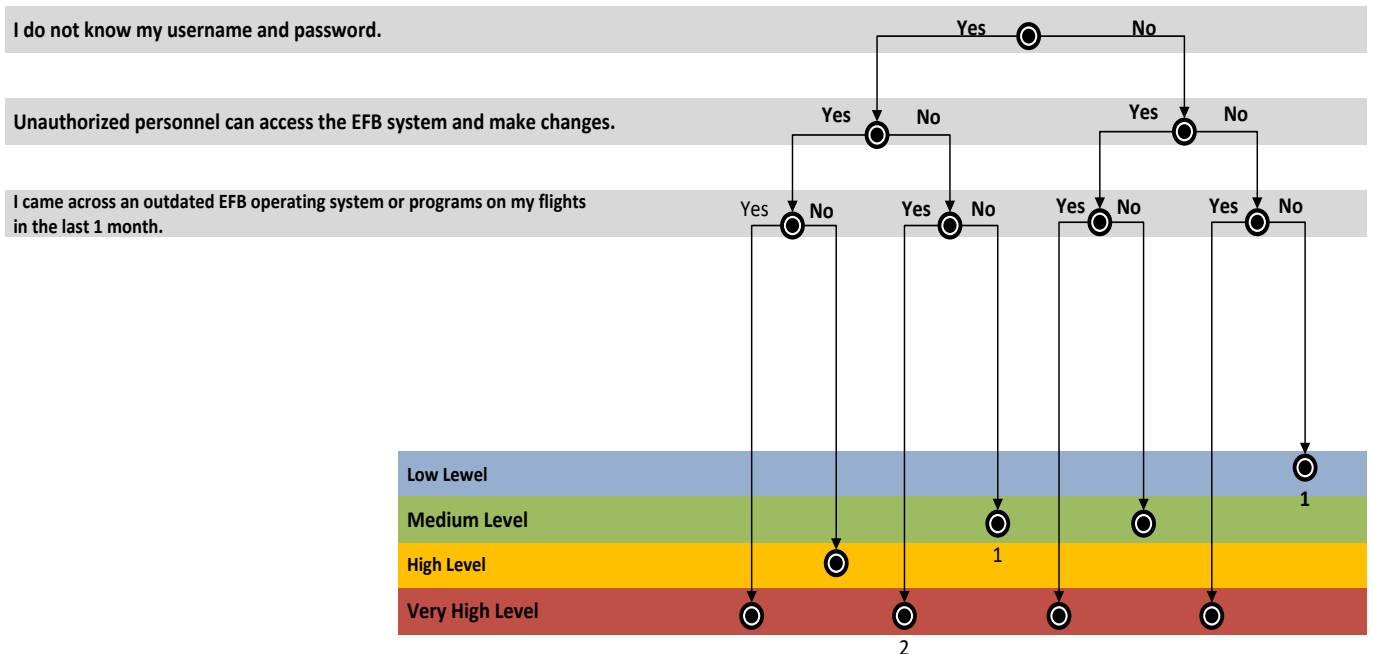
Figure 3. EFB-Environment Decision Tree



To the questionnaire questions determined within the scope of EFB and environment interaction, 2 participants answered yes to the first question, 1 participant to the second question, 1

participant to the third question, and 2 participants to the fourth question. It is seen that this situation falls into the very high risk area in the decision tree analysis (Figure 4).

Figure 4 . EFB- Software Decision Tree



To the questionnaire questions determined within EFB and software interaction, 3 participants answered yes to the first question and 2 participants to the third question, while all

participants answered no to the second question. This situation is seen to be in a very high risk area in decision tree analysis.

The distribution rates of the answers for the EFB scale are given in Table 1. The distribution by size can be seen, with the total number of participants being 15 pilots. The answer "Yes",

which is considered as a risk factor, has been taken into account in the calculation of the rates.

Table 1 . EFB- Software Decision Tree

EFB-Environment	
Questions	Ratio of Yes Answer (%)
I had difficulty seeing the screen because EFB hardware was reflecting	13.3
Font size and shape are not legible in EFB system	6.7
Colors prevent reading in EFB system	6.7
When I hang the EFB hardware on the glass, it prevents me from seeing the visual aids in the landing pattern.	13.3
EFB-Hardware	
Questions	Ratio of Yes Answer (%)
I have observed that the EFB system has created interference in-flight radio devices, during my flights in the last 1 month.	0
I observed that the EFB system caused flickering on the screens, during my flights in the last 1 month.	0
I have observed that EFB system affects the FIDS (Flight Information Display System) system on my flights in the last 1 month.	0
EFB- Human	
Questions	Ratio of Yes Answer (%)
I have encountered with EFB equipment not being left where it should be, during my flights in the last 1 month.	13.3
I have observed that flights were carried out without checking the charge status of the devices before the flight, in the flights in the last 1 month.	0
I came across an outdated EFB operating system or programs on my flights in the last 1 month.	13.3
EFB- Software	
Questions	Ratio of Yes Answer (%)
I do not know my username and password.	20
Unauthorized personnel can access the EFB system and make changes.	0
I came across an outdated EFB operating system or programs on my flights in the last 1 month.	13.3

5. Conclusions and Recommendations

At this stage, the questionnaire results were examined using the internal node points determined by the decision tree method around the SHELL model. The questions asked in the questionnaire made to 15 participants and the number of participants who answered yes to the questions are given in detail in the table below (Table 1.).

Inspired by the SHELL model, decision trees were determined in line with EFB-Environment, EFB-Hardware, EFB-Software and EFB-Human interactions. In decision trees, the equivalents of inner nodes and inner nodes at the result nodes are decided. The determined internal nodes were asked to 15 participants by creating a questionnaire and the results of the risks in the use of EFB were provided as result nodes.

When the interaction of electronic flight bags and the environment was examined, 2 participants answered yes to the first question, 1 participant to the second question, and 2 participants to the third question. The answers given within the EFB and environment interaction show that it is in a very high risk category in the decision tree method.

When the electronic flight bags and hardware interaction were examined, it was observed that all of the participants answered no to the questions asked, and this shows that they are in the low-level risk category in the decision tree method.

When electronic flight bags and human interaction were examined, 2 participants answered yes to the first and third

questions, while all participants answered no to the second question. This indicates that EFB and human interaction is in the high-level risk category.

When examined in electronic flight bags and software interaction, 3 participants answered yes to the first question and 2 participants to the third question, while all participants answered no to the second question. This shows that the software interaction is in the high risk category.

In general, in the results of the survey applied to 15 participants, the EFB system; It was concluded that there is a high risk in software and human interactions, a very high risk in environmental interaction and a low risk in hardware interaction.

Airline transport is a sector that uses high-tech products and closely follows technological development. Today's technological developments affect the airline transportation sector and cause the use of new technologies. One of these technologies is that old flight bags are replaced by portable or embedded electronic devices called electronic flight bags. The reasons why these electronic flight bags are preferred; There are reasons such as the decrease in fuel consumption due to the decrease in the load carried, the increase in labor productivity and savings in the membership fees paid for the road maps. For all these reasons, companies engaged in air transport prefer electronic flight bags and their use is increasing day by day.

In this study, a risk analysis has been made for the electronic flight bags used in the airline company. For this, the method called decision tree in the literature was used. Inspired by the SHELL model, the decision tree was created in the areas of the electronic

flight bag's interactions with hardware, software, human and environment. Under these interaction areas, inner nodes were created and the result nodes were determined. Node endpoints are determined as low, medium, high and very high risk levels, indicating the risk of danger. Then, the questionnaire was created with the determined internal nodes and answered by the relevant pilots. In the questionnaire, it was aimed to reach the result nodes by asking the internal nodes as questions. As a result, with the answers given to the inner nodes, different risk levels at the result nodes have been reached. Thus, it is aimed to decide the risks in the use of electronic flight bags.

As a result of the study with the participation of 15 pilots, it was observed that there was a low level of risk in electronic flight bag hardware interaction, while it was observed that there was a high level of risk in its interaction with the environment and a high level of risk as a result of its interaction with human and software. It would be correct to examine these risky areas in detail and offer solutions and solutions.

3 participants answered yes to the question "I do not know my username and password" in electronic flight bag software interaction. Here, it can be said that reminding the pilots of their user names and passwords by the EFB administrator and giving the username and password if they are not given can be a solution. Two participants answered yes to another question in software interaction and human interaction, "I encountered an outdated EFB operating system or programs on my flights in the last month". Establishing a procedure for the operating system and programs and checking their updates frequently helps to reduce the risks that may arise.

In the electronic flight bag and human interaction, 2 participants answered yes to the question "I have encountered EFB equipment not being left where it should be on my flights in the last 1 month". At this point, as a solution, it will be determined exactly where the EFB devices will be left after the flight and stated in the EFB usage procedures will reduce the risk.

In the electronic flight bag and environment interaction, 1 participant each answered yes to the questions "fonts are not legible in subjects such as size and shape of fonts in EFB system" and "colors prevent reading in EFB system". In addition, 2 participants answered yes to the questions "When I hang the EFB hardware on the glass, it prevents me from seeing visual aids in the landing pattern" and "I had difficulty seeing the screen because the EFB equipment reflected". Since it involves a very high risk of affecting the visual aids in the landing pattern, it is necessary to find a solution immediately. If it is considered appropriate for use on the knee, it will be an appropriate corrective action to be used to remove the apparatus used to hang on the glass and to use a pilot flight knee (kneeboard for pilot). Apart from this, it may be a solution to check the current status of the system and programs used to solve issues such as colors, font sizes and shapes, and use new different programs if necessary.

As a result, the use of electronic flight bags, which has many undeniable advantages, is increasingly common. In this research, risk analysis of electronic flight bags has been made using the decision tree method. As a result of the analysis, it has been realized that there were very high and high risk situations. Preventive and corrective actions to reduce these risks shall be taken. Thus, electronic flight bags will continue to be used more safely for the purpose of aviation safety, thus possible accidents, crimes and incidents will be prevented.

References

- Carbo, J.M. and Graham, D.J., (2020). Quantifying The Impacts of Air Transportation on Economic Productivity: A Quasi-Experimental Causal Analysis. *Economics of Transportation*, Vol 24, 1-13.
- Delgado, L., Gurtner, G., Cook, A., Martin, J. and Cristobal, S., (2020). A multi-layer model for long-term KPI alignment forecasts for the airtransportation system. *Journal of Air Transport Management*, Vol 89, 1-12.
- Dozik, S., (2019). Multi-criteria decision making methods: Application in the aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, Vol 79, 1-22.
- EASA. (2014). Airworthiness and operational consideration for Electronic Flight Bags.
- ICAO. (2014). Annex II - AMC 20-25. Montreal, Canada.
- Khan, H. U. R., Siddique, M., Zaman, K., Yousaf, S. U., Shoukry, A. M., Gani, S. G., Sasmoko, Khan, A. A. and Hishan, S.S. (2018). The impact of air transportation, railways transportation, and port containertraffic on energy demand, customs duty, and economic growth: Evidencefrom a panel of low-, middle-, and high -income countries. *Journal of Air Transport Management*, Vol 70, 18-35.
- Köse, M., Ayanoğlu, E., Erel, E., & Gündüz, C. (2016). Sivil Havacılıkta Mobil Teknolojilerin Kullanımı –Elektronik Uçuş Çantası.
- Moctezuma, L. E., Lobov, A., & Lastra, J. L. (2012). Decision making by using tree-like structures on industrial controllers. 2012 10th International Conference on ICT and Knowledge Engineering, (s. 77-83). Bangkok.
- Moshkov, M., (2021). On the depth of decision trees over infinite 1-homogeneous binary information systems. *Array*, Vol 10, 1-4.
- Puranik, T.G., Rodriguez, N., and Mavris, D.N., (2020). Towards Online Prediction of Safety-Critical Landing Metrics in Aviation Using Supervised Machine Learning. *Transportation Research Part C*, Vol 120, 1-18.
- Quinlan, J. R. (1990). Decision trees and decision-making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* , 330-346.
- Rios Insua, D., Alfaro, C., Gomez, J., Hernandez-Coronado, P. and Bernal, F., (2018). A framework for risk management decisions in aviation safety at state level. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol 179, 74-82.
- Uysal, M., & Güyer, T. (2014). İstatistiksel Veri Analizine İlişkin Genişleyebilir Bir Karar Ağacı Tasarımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi* , 33-43.



Rulman Hasarlarının Titreşim ve Gürültü Analizi ile Tespiti

Habibe Gürsoy Demir^{1*}, Ozan Müştak²

^{1*} İskenderun Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7705-9516)

² Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8859-3872)

(İlk Geliş Tarihi 27 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 8 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.869285)

ATIF/REFERENCE: Gürsoy Demir, H. & Müştak, O. (2021). Rulman Hasarlarının Titreşim ve Gürültü Analizi ile Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 571-581.

Öz

Rulmanlar, yüksek hızlarda ağır yüklerin taşınmasını sağlayan, aynı zamanda çok düşük yuvarlanma kayıplarına sahip olan dönel makinaların vazgeçilmez parçası olarak endüstride yaygın olarak kullanılan makine parçalarıdır. Bu sebeple rulman hasarlarının erken teşhisi makinanın sağlıklı çalışmasını sağlamak amacıyla son derece önemlidir. Bu çalışmada ORS 6208 plastik kafesli sabit bilyalı rulmanda oluşan farklı tip hasarların titreşim analizi ve gürültü ölçümü metotları kullanılarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ORS 6208 plastik kafesli sabit bilyalı üç ayrı rulmanın, dış bilezik yuvarlanma yoluna, iç bilezik yuvarlanma yoluna ve bilyasına hasar verilerek rulman hasarları oluşturulmuş ve eş zamanlı titreşim ve gürültü ölçümü yapılmıştır. Titreşim ve gürültü ölçümü sonucu alınan veriler zaman ve frekans bölgesinde incelenmiş, bunlara ek olarak Hilbert dönüşümü kullanılarak zarf analizi yapılmış ve bu analizler sonucunda rulman hasarları tespit edilmiştir. Farklı tip hasarlara sahip rulmanlara ait titreşim analizleri kıyaslandığında Hilbert dönüşümünün rulman üzerindeki hasarı tespit etmede daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda ses ölçüm cihazından alınan değerler kullanılarak rulmanların teorik olarak Ses Basınç Düzeyi, Ses Şiddeti Düzeyi, Ses Gücü Düzeyi, Yönelme ve Yönelme Katsayısı hesaplanmıştır. Sağlıklı rulman ve hasarlı rulmanlar arasındaki gürültü değerleri dB cinsinden karşılaştırıldığında bilya hasarına sahip rulmanın gürültü seviyesinin en düşük, dış bilezik yuvarlanma yolu hasarlı rulmanın ise en yüksek gürültü seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rulman, Hasar Tespiti, Zarf Analizi, Gürültü Ölçümü, Titreşim Ölçümü

Fault Detection of Bearing by Vibration and Noise Analysis

Abstract

Bearings are machine parts that are widely used in the industry as an indispensable part of rotary machines that allow heavy loads to be transported at high speeds and also have very low rolling losses. For this reason, early diagnosis of bearing faults are extremely important in order to ensure the healthy operation of the machine. In this study, it is aimed to detect different types of faults in ORS 6208 plastic cage deep groove ball bearing using vibration analysis and noise measurement methods. For this purpose, bearing fault was created by damaging the outer race, inner race and ball of three separate ORS 6208 plastic caged deep groove ball bearings, and simultaneous vibration and noise measurements were made. The data obtained as a result of vibration and noise measurements were examined in the time and frequency region, in addition to these, envelope analysis was performed using Hilbert transform and bearing faults were determined as a result of these analyzes. Comparing the vibration analysis of bearings with different types of damage, it has been determined that Hilbert transformation is more successful in detecting the damage on the bearing. At the same time, using the values obtained from the sound measuring device, the theoretical Sound Pressure Level, Sound Intensity Level, Sound Power Level, Directionality and Directional Coefficient of the bearings were calculated. The noise values between healthy bearing and faulty bearing are compared in dB. When the noise values between healthy bearing and damaged bearings are compared in dB, it is found that the noise level of the bearing with ball damage is the lowest, and the bearing with the outer race has the highest noise level.

Keywords: Bearing, Fault Detection, Envelope Analysis, Noise Measurement, Vibration Measurement

*İskenderun Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7705-9516)
(habibe.gursoydemir@iste.edu.tr)

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle beraber yeni makineler üretilmektedir. Üretilen makinelerde yaygın olarak kullanılan makine elemanlarından birisi de rulmanlardır. Makinelerin arızasız bir şekilde çalışmaları rulmanların sağlıklı bir şekilde çalışmaları ile doğrudan orantılıdır. Rulmanlarda meydana gelen herhangi bir hasar üretimin durmasına neden olabilir ve bunun sonucunda da seri imalat yapan yerlerde üretim, zaman ve maliyet kayıpları meydana gelebilmektedir. Bir makinenin maksimum verimde çalışmasını sağlamak ve üretimin kayıplarını minimum düzeyde tutabilmek için bugüne kadar değişik yaklaşımlar benimsenmiştir. Bu yaklaşımlardan birisi de Kestirimci Bakım anlayışı olmuştur. Kestirimci Bakım anlayışında arıza tahminleri yapılırken titreşim analizi temel metotlardan birisi olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak ses titreşim sonucu oluşmaktadır. Bu sebeple gürültünün izlenmesi için kullanılan akustik yöntemlerde arıza tespitinde kullanılmaktadır. Burada amaç, olası arızaların henüz başlangıç aşamasında iken tespit edilebilmesidir. Rulmanlarda meydana gelen lokal hatalar, periyodik olarak titreşim darbelerine neden olurlar ve bunun sonucunda makineler rezonansa girebilir. Titreşim izleme yöntemleriyle oluşan bu darbe etkileri kolaylıkla tespit edilebildiğinden, rulmanlarda meydana gelen arızaların belirlenmesinde titreşim uygulamaları yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Titreşim analizi ile hasarlı olduğu düşünülen rulmanlardan alınan titreşim sinyalleri zaman veya frekans düzleminde incelenerek sağlıklı bir rulmanın sahip olduğu bilgilerden farklılığına göre rulman arızalı veya arızasız olarak nitelendirilmektedirler. Rulmanlarda meydana gelebilecek arızaları önceden tespit etmek ve oluşan arızaları en aza indirmek için bu alanda birçok çalışma yapılmıştır.

Yeşilyurt ve Özdemir (2015) dengesiz yüke maruz silindirik masuralı rulman hasarını titreşim sinyallerini kullanarak dengesizlik ve hata belirtilerini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Rulmana ait titreşim verileri belirli bir çalışma yükü ve hızı altında toplanmış ve kısa zamanlı Fourier dönüşümü yardımıyla hasar tespit edilmiştir. Kırıl ve Karagülle (2005) olası rulman hasarlarını tespit etmek amacıyla dış bilezikte oluşan hasarı modellemiş ve titreşim analizi yardımıyla hatayı tespit etmişlerdir. Titreşim analizi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Rubini ve Meneghetti (2001) rulman hasarlarını tespit etmek amacıyla zarf analizi ve dalgacık dönüşümü yöntemlerinden yararlanmışlar ve hasarlı rulmanlara ait titreşim sinyallerinden hatayı başarılı bir şekilde tespit etmişlerdir. Ho ve Randall (2000) zarf analizi yöntemini kullanarak rulman hasarlarını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Rulmanda yuvarlanma elemanlarının boşluklardan dolayı oluşturduğu darbelerle oluşan titreşim sinyalleri incelenerek hasar tespiti sağlanmıştır. Liu, Cheng ve Wen (2019) kısa süreli Fourier dönüşümü (STFT) ve geliştirilmiş anlık frekans tahmin algoritması aracılığıyla yeni bir rulman arıza teşhis yöntemi önermişlerdir. Hem rulman arızası hem de rulman arızasının yerinin tespitinde önerilen yöntem başarılı olmuştur. Wang ve arkadaşları (2020) titreşim ve akustik sinyalleri kullanarak rulman arızalarını teşhis etmeyi amaçlayan CNN tabanlı bir algoritma önermişlerdir. Önerilen yöntemin hata sınıflandırılması ve hata tespitinde yüksek performans sağladığı kanıtlanmıştır. Glowacz ve arkadaşları (2016) rulman arızalarını tespit etmek amacıyla akustik emisyon tabanlı yeni bir teknik önermişlerdir. 4 farklı rulman arızası bu yöntemle başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Özkat (2021) çalışmasında rulmanlarda sağlık göstergesinin

belirlenmesi amacıyla titreşim sinyallerine welch yöntemini kullanarak zaman alanından frekans alanına dönüştürmüştür. Titreşim sinyallerinden çıkarılan öznelikler ve makine öğrenmesi metodolojisi kullanılarak yüksek hızlı rulmanlarda sağlık göstergeleri belirlenmiştir. Arslan ve diğerleri (2006) titreşim analizi yöntemini kullanılarak bilyeli rulmanlardaki bölgesel yüzey kusurlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Hazırlanan bir rulman-mil deney seti ile sağlam ve iç ve dış bileziği yapay kusurlu rulmanlara ait titreşimleri kaydetmişlerdir. Ayrıca sitem için teorik bir model oluşturularak sağlam ve kusurlu rulmanları analiz etmek için bir simülasyon programı geliştirmişlerdir. Simülasyon programından elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında bir uyum içerisinde oldukları gözlemlenmiştir. Aliustaoğlu ve diğerleri (2007) titreşim analizine dayalı rulman hata tespiti üzerine bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. Bu maksatla bir rulman test düzeneği oluşturularak, rulman iç ve dış bileziklerine yapay hasarlar verilmiş ve ölçümler ile titreşim verileri toplanmıştır. Bu verileri incelediklerinde, hata frekans bileşenlerinin hatanın varlığını; bu bileşenlere ait genliklerin ise hatanın gelişme durumunu gösterdiği sonucuna varmışlardır. Boukhobza ve diğerleri (2013) rulman hatlarının yerinin tespiti ve büyüklüğünün tespiti için yapay sinir ağları metodu üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında rulman iç bileziği, dış bileziği ve bilye üzerine değişik ebatlarda yapay hatalar vererek yapay sinir ağları metodunun rulmandaki hataların ciddiyetini belirleme üzerindeki etkinliğini araştırmışlardır. Williams ve diğerleri (2001) rulmanların çalışma süresini belirlemek maksadıyla bir test düzeneği kullanmışlardır. Yapılan birçok çalışmadan farklı olarak rulmanlara yapay kusurlar vermek yerine sağlam rulmanları bu test düzeneğinde çalıştırarak farklı devirlerde, hasar oluşuncaya kadar teste tabi tutmuşlar ve elde ettikleri titreşim verilerini kaydetmişlerdir. Jayaswal ve Wadhvani (2009) titreşim analiziyle hata teşhisi kapsamında yapay sinir ağları, bulanık mantık ve dalgacık dönüşümü tekniklerini irdelemişler ve bu yöntemlerin özellikle döner makinelerin en önemli parçalarından olan rulmanlar üzerindeki uygulamaları ve kullanım alanlarını araştırmışlardır. Bayram ve diğerleri (2014) farklı ebatlarda iç bileziği, dış bileziği ve bilyesi yapay hasarlı rulmanları kullanarak titreşim verilerini toplayıp, elde edilen sinyallere dalgacık dönüşümü uygulayarak gürültüden arındırmışlardır. Gürültülü ve gürültüsüz sinyallerin enerjilerini hesaplayıp orantılayarak dalgacık katsayılarını elde etmişlerdir. Dalgacık dönüşümü yöntemi sonucu elde edilen katsayılar tekniği yönteminin etkinliğini, rulman elemanları üzerindeki farklı ebatlardaki hataları sınıflandırmada kullanılabilirliğini vurgulamışlardır. Literatürde var olan çalışmalar incelendiğinde rulmanda oluşan farklı tip hasarların tespiti aşamasında zaman, frekans bölgesi analiz yöntemlerinin kullanıldığı ve hata tespitinin başarıyla yapıldığı görülmüştür. Ancak titreşim analizinin yanında ses ölçümünün de yapıldığı ve elde edilen gürültü değerlerinin hatanın varlığını tespit etmede kullanıldığı çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada 6208 tipi plastik kafesli sabit bilyalı üç ayrı rulmanda dış bilezik yuvarlanma yoluna, iç bilezik yuvarlanma yoluna ve bilyasına hasar verilerek rulman hasarları oluşturulmuştur. Her rulman için ayrı ayrı eş zamanlı olarak titreşim ve gürültü verileri toplanmıştır. Elde edilen titreşim ve gürültü verilerine zaman, frekans ve zarf analizi uygulanmış ve rulman hasarları tespit edilmiştir. Zaman ve frekans analizi hatanın karakteristiğini belirlemede yetersiz kalırken zarf analizi ile karakteristik arıza frekansları elde edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen arıza frekans değerleri ile hesaplanan arıza frekans değerleri kıyaslanmış ve sonuçlar örtüşmüştür. Ayrıca ses ölçüm

cihazı ile toplanan veriler kullanılarak sağlıklı ve hasarlı rulmanların teorik olarak Ses Basınç Düzeyi, Ses Şiddeti Düzeyi, Ses Gücü Düzeyi, Yönelme ve Yönelme Katsayısı hesaplanmıştır. Sağlıklı rulman ve hasarlı rulmanlar arasındaki gürültü değerleri dB cinsinden karşılaştırılmıştır. Bilya hasarına sahip rulmanın gürültü seviyesinin en düşük, dış bilezik yuvarlanma yolu hasarlı rulmanın ise en yüksek gürültü seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Gürültü ölçüm değerlerinin de hatanın varlığını tespit ederken kullanılabilir olduğu görülmüştür. Ayrıca sağlıklı ve hasarlı rulmanlara ait zaman bölgesi gösterimleri kıyaslandığında hesaplanan ses basınç düzeyi ile deneysel sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Titreşim Analizi ile Hata Tespiti Teknikleri

Rulmanlarda oluşan hasaları belirlemek için literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu çalışmada ise rulmanda görülen farklı hata tiplerini tespit ederken zaman bölgesi ve frekans bölgesi analizlerinden yararlanılmıştır.

2.1.1. Zaman Bölgesi Analizi

Sinyale ait zaman bölgesi analizi, rulman hasarlarını belirlemede yaygın olarak kullanılan metotlardan birisidir. Rulmanlarda oluşan hasarları tespit etmek için zaman bölgesindeki sinyalin tepe değeri, sinyalin enerjisi, istatistiksel özellikler ve modülasyon gibi özelliklerini içeren titreşim parametrelerinden yararlanılmaktadır. Bu parametrelerden istatistiksel özellikler rulman hasarlarının tespitinde sıkça kullanılmaktadır.

2.1.1.1 İstatistiksel Analiz

Yaygın olarak kullanılan istatistiksel özellikler ortalama değer, RMS (etkin değer), tepeden-tepeye değer, maksimum ve minimum değer, crest faktörü ve kurtosis (basıklık) olup aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

RMS değeri; sinyal anlık değerlerinin karelerinin ortalamasının karekökü olarak tanımlanır ve Eşitlik (1) ile ifade

$$rms = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt} \quad (1)$$

Bu eşitlikteki $x(t)$ ve T sırasıyla analiz edilen zaman sinyalinin ve bu sinyalin periyodunu ifade etmektedir.

Tepeden tepeye değeri (P_p); sinyalin maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark olarak tanımlanır ve Eşitlik (2) ile ifade edilmektedir:

$$P_p = \max(x) - \min(x) \quad (2)$$

Ortalama değer (\bar{x}); sinyalin anlık değerlerinin bir periyottaki ortalaması olarak tanımlanır ve Eşitlik (3) ile ifade edilmektedir:

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (3)$$

Crest Faktörü, sinyalin darbe içeriğini tespit etmede kullanılmakta ve zaman sinyalinin içerisindeki en büyük değer

RMS'e oranı olarak tanımlanmaktadır. Crest faktörü eşitlik (4) ile hesaplanmaktadır.

$$F_c = \frac{P_p}{rms} \quad (4)$$

Kurtosis (Kr); (basıklık) Kurtosis, bir veri grubunun, ortalama değer etrafındaki dağılımını gözlemek amacıyla kullanılan istatistiksel bir ölçüdür. Yani crest faktör gibi, sinyalin darbe içeriğini tespit etmekte kullanılır. Darbe içeriği daha hassastır. Kurtosis matematiksel olarak eşitlik (5) ile hesaplanmaktadır.

$$Kr = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - \bar{x}]^4 dt}{rms^4} \quad (5)$$

2.1.2. Frekans Bölgesi Analizi

Frekans bölgesi analizinde, titreşim genliği frekansa karşı temsil edilir. Fourier analizi, sinyali zaman bölgesinden frekans bölgesine dönüştüren bir yöntemdir ve sinyalin spektral içeriğini belirlemek için kullanılır. Bir sistemin titreşim cevabı, sistemi oluşturan parçalar ve çalışma parametreleri (yük, hız) tarafından belirlenir. Bu sebeple her sistemin titreşim cevabı o sisteme özgüdür. Çalışma kuvvetleri ve hızı değişmiyorsa titreşim seviyesi de değişmez. Bu nedenle hatasız durumda elde edilen titreşim spektrumuna makinanın imzası denir. Eğer makina içerisinde bir hata (arıza) meydana gelirse, makina titreşimleri ve dolayısıyla spektrumu da değişir. Bir sistemin hasarlı durumdaki frekans spektrumu ile sağlıklı durumdaki referans frekans spektrumu karşılaştırılarak sistemde meydana gelen hata tespit edilebilir.

Frekans bölgesi analizi hata tespitine temel teşkil etmesinin yanında, modülasyonlar ve harmonik içerik gibi bazı temel sinyal özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Bu özellikler zaman bölgesi analizinde kolayca belirlenemez. $x(t)$ sinyaline ait Fourier dönüşümü Eşitlik (6)'da verilmektedir:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (6)$$

Bu eşitlikte f ve $X(f)$ sırasıyla frekansı ve sinyalin Fourier dönüşümünü ifade etmektedir.

Sinyaller içerisindeki frekans bilgilerinin elde edilmesi için kullanılan en yaygın metot Fourier Dönüşümüdür. Rulman hasarları ilk oluşum aşamasında oldukça küçük hasar frekansları bileşenlerine sahiptir bu sebeple doğrudan spektrum grafiğinden belirlenmesi zordur. Bu nedenle küçük, tekrarlı hasar frekansları sinyalleri "zarf tekniği" kullanılarak kuvvetlendirilip kolayca analiz edilebilmektedir.

2.1.2.1. Zarf Analizi

Zarf analizi, hatalı rulmandan elde edilen titreşim sinyaline ait karakteristik frekansları çıkarmada ve rulmanda oluşan hasarların tespitinde kullanılan önemli bir sinyal işleme tekniğidir. Bu analizle rulmanda hasarların çıkışını tanımlamak mümkün olurken, aynı zamanda hatanın kaynağı da belirlenebilmektedir.

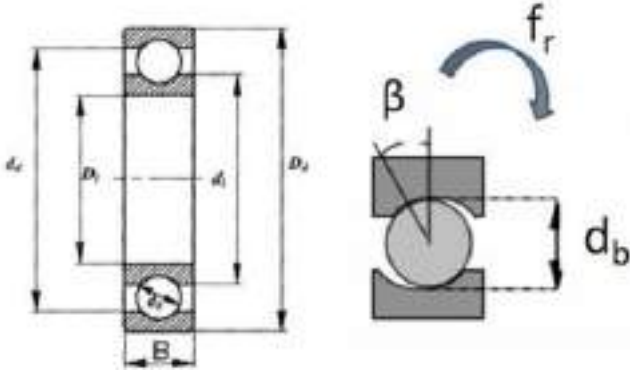
Zaman tanım bölgesi analizinin geliştirilmiş hali olan Zarf Analizi, dengesizlik, eksen kaçıklığı, mekanik gevşeklik, rulman

arızasından kaynaklanan titreşim frekans sinyallerini rezonans frekansı civarındaki yüksek frekansları geçiren bir filtre uygulayarak ayıklayan bir metottur. Zarf analizinde uygulama 3 adımdan oluşmaktadır. İlk önce karmaşık sinyaller yüksek geçiş bant filtresinden geçirilir. Filtre uygulaması sonrasında elde edilen titreşim zaman sinyallerine zarf uygulanır ve son adım olarak da zarf uygulanan sinyaller FFT işlemine tabi tutularak spektrum elde edilir. İncelenen sinyalde hata yoksa sinyale ait zarf spektrumu gürültü, hata varsa rulman frekanslarını yükselten harmonikler içerir. Hata büyüdükçe, bu tepe noktalarının genlikleri artacak, rulman arızası son aşamaya geldiğinde ise bu tepe noktalarını içine alacaktır.

2.2. Rulmanlarda Karakteristik Arıza Frekansları

Rulman, sürtünme sonucu aşındığında veya üzerinde hasar oluştuğunda, farklı frekanslarda titreşim üretmektedir. Rulmanın fiziksel ve geometrik yapısına bağlı olarak iç bilezik, dış bilezik ve yuvarlanma elemanları (bilya) üzerinde birbirinden bağımsız frekans bileşenleri oluşur. Şekil 1’de yapılan deneylerde kullanılan rulman ait geometrik yapı ve genel hata frekans denklemleri verilmiştir.

Rulmanlarda herhangi bir arıza oluştuğunda arızayı belirlenmesini sağlayan dış bilezik, iç bilezik, yuvarlanma elemanı ve kafes frekansları şeklinde dört çeşit frekans vardır. Tablo 1’de bu çalışmada kullanılan rulmana ait karakteristik arıza frekansları verilmiştir.



Şekil 1. Rulman Geometrisi

$$PD = \frac{Di+Dd}{2} \quad BD = \frac{Di-Dd}{2} \quad (7)$$

$$f_{BPFO} = \frac{n}{2} f_r \left[1 - \frac{PD}{BD} \cos \beta \right] \quad (8)$$

$$f_{BPFI} = \frac{n}{2} f_r \left[1 + \frac{PD}{BD} \cos \beta \right] \quad (9)$$

$$f_{BSF} = \frac{1}{2} f_r \frac{PD}{BD} \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right] \quad (10)$$

2.3. Ses ve Gürültü Kavramları

Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerjidir. Sesin doğuşu ve yayılması ortamdaki parçacıkların titreşimi ve bu titreşimlerin komşu parçacıklara iletilmesiyle olur. Ortamdaki parçacıkların titreşmesiyle oluşan dalgalar havada basınç değişiklikleri oluşturur. Bu değişim miktarı ses basıncı denir.

2.3.1 Ses Basınç Düzeyi

Ses, kulak zarıyla temasta bulunan havanın basıncının değişmesiyle algılandığından, bir ses kaynağının ses gücünden daha çok, belli bir noktada yarattığı ses basıncı değişimi önemlidir. 0.00002 Newton/m²’lik standart referans ses basınç düzeyine oranlanan ses basınç düzeyinin birimi desibel (dB) dir.

Ses basınç düzeyi Eşitlik (11)’deki gibi hesaplanır.

$$SPL = L_p = 20 \log \frac{P}{P_{ref}} \quad P_{ref} = 2 \times 10^{-5} \quad (11)$$

Burada P, ses basıncının karelerinin ortalamasının kareköküdür.

2.3.2. Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi

Sesin, kaynağın bulunduğu ortamın akustik ve geometrik özellikleriyle, kaynaktan olan uzaklığa bağlı olarak değişen bir diğer özelliğine de ses şiddeti denir. Ses şiddeti eşitlik (12)’deki gibi hesaplanır.

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad (12)$$

Burada P, ses basıncının karelerinin ortalamasının kareköküdür, sesin iletiği ρ ortamın yoğunluğu ve c ise sesin ortamdaki yayılma hızıdır.

Ses şiddeti düzeyi ise; Ses şiddeti bulduktan sonra Eşitlik (13)’den hesaplanmaktadır. Birimi desibel (dB) dir.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} \quad I_{ref} = 1 \times 10^{-12} \quad (13)$$

Tablo 1. 6208 plastik kafesli rulmanın dış bilezik, iç bilezik ve bilya için karakteristik arıza frekanslarının sayısal değerleri

Rulman Tipi	Dönü Frekansı, (fr)	Bilya Çapı, (db)	Bölüm Dairesi, (da)	Yük Geçiş Açısı, (B)	Bilya Sayısı	BSF	BPFI	BPFO
6208	30 Hz	11,906 mm	60 mm	0 °	9 adet	72,62 Hz	161,79 Hz	108,21 Hz

2.3.3. Ses Gücü ve Ses Düzeyi

Ses gücü, birim zaman başına bir gürültü kaynağının yaydığı ve havayla taşınan ses enerjisidir. Birimi Watt (W)'dır. Ses gücü, Eşitlik (14)'den hesaplanmaktadır.

$$W = I \times A \quad (14)$$

Ses gücü, incelenen ses kaynağının yaydığı ses gücünün, referans ses gücüne oranının 10 tabanlı logaritmasının on katıdır. Birimi desibeldir. Eşitlik (15) ile hesaplanmaktadır.

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_{ref}} \quad W_{ref} = 1 \times 10^{-12} \quad (15)$$

2.3.4. Yönelme ve Yönelme Katsayısı

Ses kaynağından çıkan ses dalgaları her yönde farklılık gösterir. Bir noktadaki *yönelme katsayısı Q*; o noktadaki ses şiddetinin, sesin düzgün yayılması durumunda aynı noktada oluşturacağı ses şiddetine oranı olarak tanımlanır ve Eşitlik (16) ile hesaplanır.

$$Q = \frac{I}{I_t} \quad (16)$$

Burada I ses şiddeti, I_t ise aynı noktada, sesin küresel dalgalar halinde yayılması durumunda elde edilecek teorik ses şiddetidir.

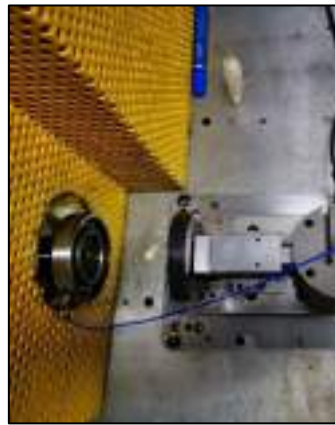
Her yönde değişik yönelme katsayısına sahip bir ses kaynağının herhangi bir yöndeki yönelme katsayısı, o yönde bir noktada ölçülen ses basıncı düzeyi ile kaynağa aynı uzaklıktaki ortalama ses basıncı düzeyinden yararlanarak eşitlik (17) ile hesaplanır.

$$Q = 10^{(L_p - L_p)} \quad (17)$$

3. Deney Düzenegi



Şekil 2. Deney Düzenegi sol yan Görünüş



Şekil 3. Deney Düzenegi üstten Görünüş

Rulmanlarda oluşan hatayı tespit etmek için şekilde görülen deney düzenegi oluşturulmuştur. Deneyler esnasında hasarsız ve

kasıtlı olarak hasar verilmiş ORS firmasına ait 6208 tipi plastik kafesli sabit bilyalı rulmanlar kullanılmıştır. Deneyler, ORS'nin Ar-Ge Merkezinde bulunan sessiz odada gerçekleştirilmiştir. Gürültü ve titreşim verileri eş zamanlı alınmıştır. Rulmanlarda titreşim analizi ile hata tespiti için PCB markalı ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçer, rulmanlarda oluşturulan hasarların yakınına yapıştırılmıştır. Böylece titreşim analizi ile arıza tespitinde daha belirgin hata tespiti yapılması sağlanmıştır. Elde edilen titreşim verileri ORS veri toplama sistemi ile toplanmıştır ve alınan verilerin analizleri MATLAB programındaki sinyal işleme metotları ile gerçekleştirilmiştir. Her bir titreşim ölçümünde Fs= 25600 Hz örnekleme frekansında 10'ar saniye boyunca veri toplanmıştır. Gürültü ölçümü için ise 01dB ses ölçüm cihazı National Instruments firmasına ait veri toplama kartı kullanılmıştır. Deneyler; sağlıklı, dış bilezik yuvarlanma yolu, iç bilezik yuvarlanma yolu ve bilya hasarına sahip rulmanlar için 1800 RPM hızında verilerin elde edilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

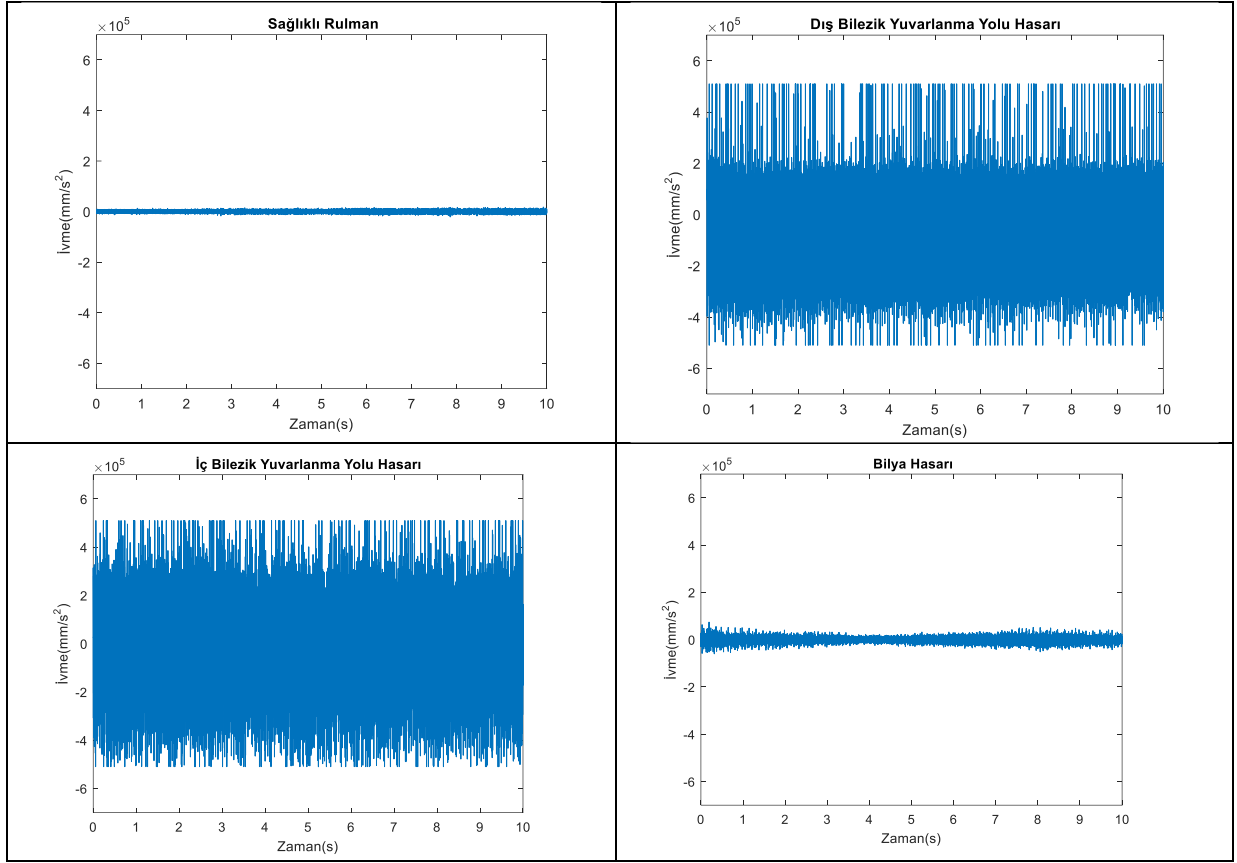
Gürültü ölçümünde yönelme katsayısını bulmak için mikrofon 30°, 60°, 90°, 120° ve 150° aralıklarla yarım küre oluşturulacak şekilde konumlandırılmıştır. ISO 3744 standartına göre yarım küre ölçümleri yapılırken, yarım kürenin yarıçapı, numunenin en büyük uzunluğunun iki katı veya ortalama yüksekliğinin dört katı kadar olmak zorundadır. 6208 tipi rulmanın dış çapı 80 mm olduğu için mikrofon 160 mm uzaklığa yerleştirilerek gürültü ölçümleri alınmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada öncelikle hatasız rulmanın zaman ve frekans karakteristiği belirlenmiştir. Sağlıklı ve hatalı rulmanlara ait titreşim ve gürültü verileri incelenmiş ve hata tespiti yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle sağlıklı rulman, dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman, iç bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman ve Bilya hasarına sahip rulman titreşimlerinin zaman bölgesi analizleri yapılmıştır.

Zaman bölgesinde, sinyallerin zaman değişimlerine bakılmıştır ve sağlıklı ve hasarlı rulmanların titreşim biçimleri şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4'teki (a) ve (b, c, d) titreşim biçimleri zaman bölgesinde karşılaştırıldığında, hatanın varlığı titreşim biçimleri üzerinde kendisini belli bir periyotta tekrar eden ve hızla sönen geçiş sinyallerinin oluşmasından anlaşılmaktadır.

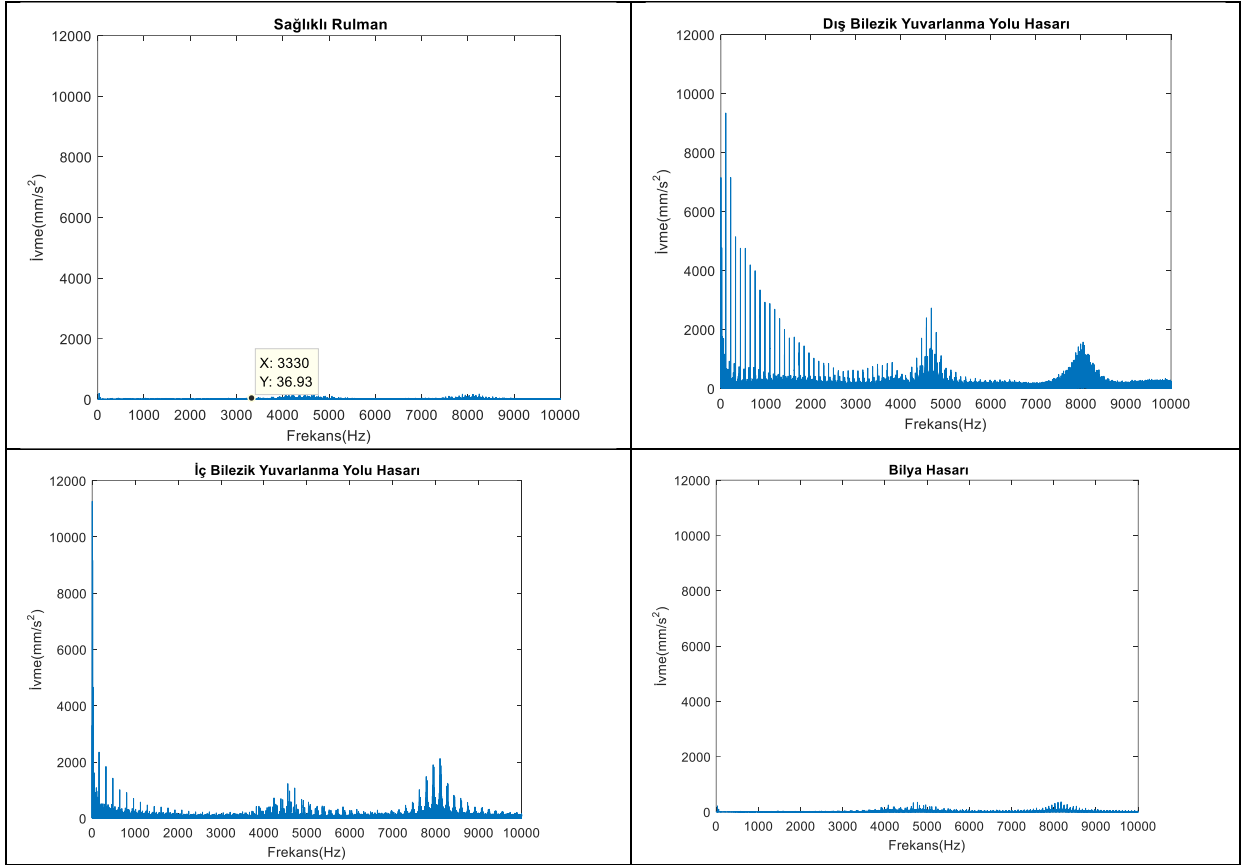
Sağlıklı rulman, dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman, iç bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman ve bilya hasarına sahip rulman titreşim verilerinin frekans spektrumları şekil 5'te gösterilmiştir. Frekans spektrumu incelendiğinde ve sağlıklı ve hasarlı rulmanlar kıyaslandığında bir hatanın varlığı görülmektedir ancak karakteristik frekansları şekil 5'teki frekans spektrumuna bakınca görme ihtimalimiz oldukça düşüktür. Sinyallerin frekans içerikleri zamana göre değişim gösterdiği durumlarda Fourier Dönüşümü tek başına sinyal davranışlarını ifade etmede yetersiz kalmaktadır. Karakteristik frekansları zarf spektrumunda görme şansımız vardır. Bunun için de Hilbert Dönüşümü kullanılarak zarf analizi yapılmış ve zarf spektrumu elde edilmiştir. Rulmanlara ait karakteristik arıza frekansları 1800 RPM'de çalışan rulmanın titreşimi için öncesinde hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir.



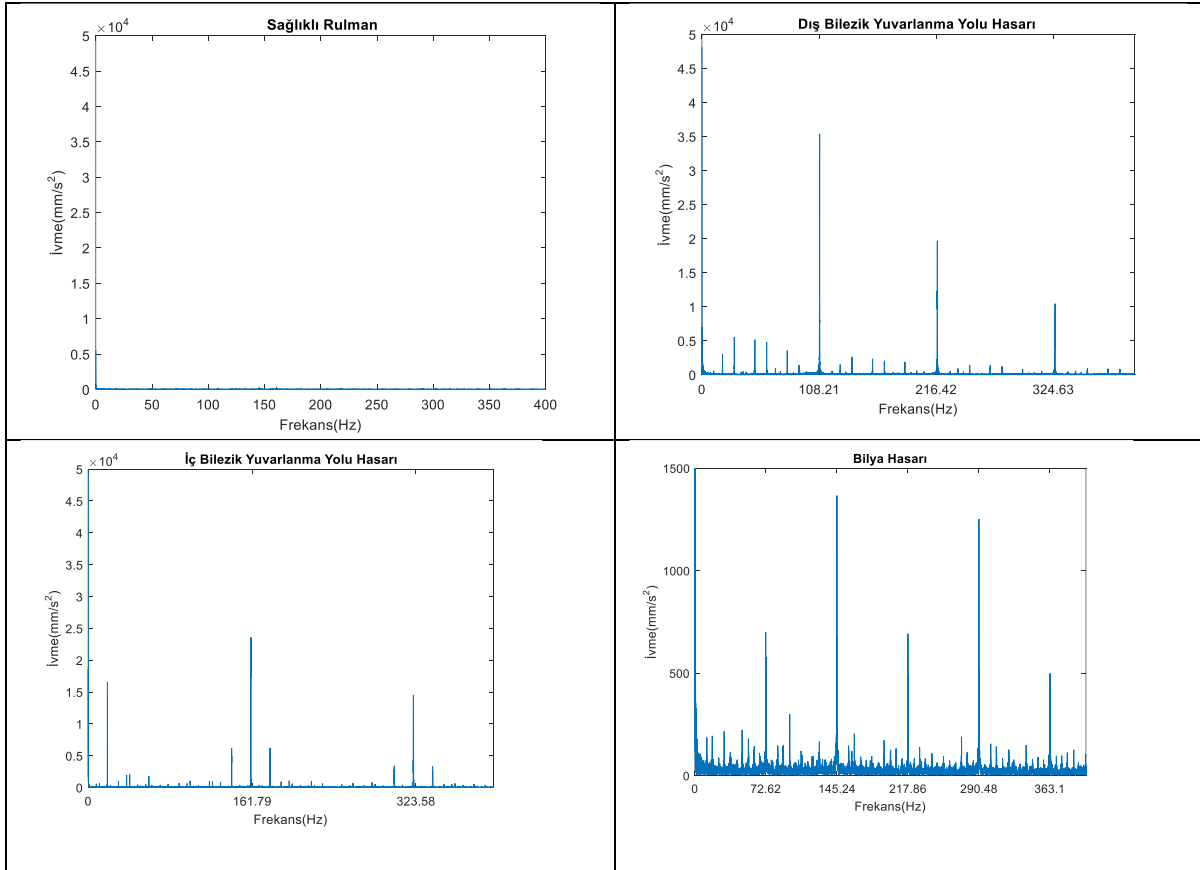
Şekil 4. Sağlıklı rulman (a), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), İç bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (c), Bilya hasarına sahip rulman (d) titreşiminin zaman bölgesi analizi gösterimleri

Şekil 6'deki (a) ve (b, c, d) spektrumları karşılaştırıldığında (b)'de zarf spektrumu üzerinde yaklaşık 108,21 Hz aralıklarla oluşan küçük yan bant frekans aktiviteleri oluşmaktadır ve hata devam ettikçe oluşan titreşim spektrumunda ise yan bant aktivitelerinin daha da güçlendiği gözlemlenmiştir. Bu değer tablo dış bilezik yuvarlanma yolu arıza frekansı olduğu görülmektedir. Bu hasara benzer olarak Tablo 1'deki sayısal değerlere göre iç bilezik hata frekansı 161,79 Hz, bilya hata frekansı ise 72,62 Hz'dir ve bu frekansların katlarında harmonikler olduğu gözlemlenmiştir. Titreşim analizine benzer şekilde deneyler sırasında elde edilen gürültü verilerinin zaman ve frekans bölgesi analizleri yapılmıştır. Öncelikle sağlıklı ve hasarlı rulmanlara ait gürültü verilerinin zaman bölgesi değişimlerine bakılmış ve titreşim biçimleri şekil 7'de gösterilmiştir. Sağlıklı rulman ile hasarlı rulmanların gürültü seviyeleri karşılaştırıldığında, bilya hasarına sahip rulmanın

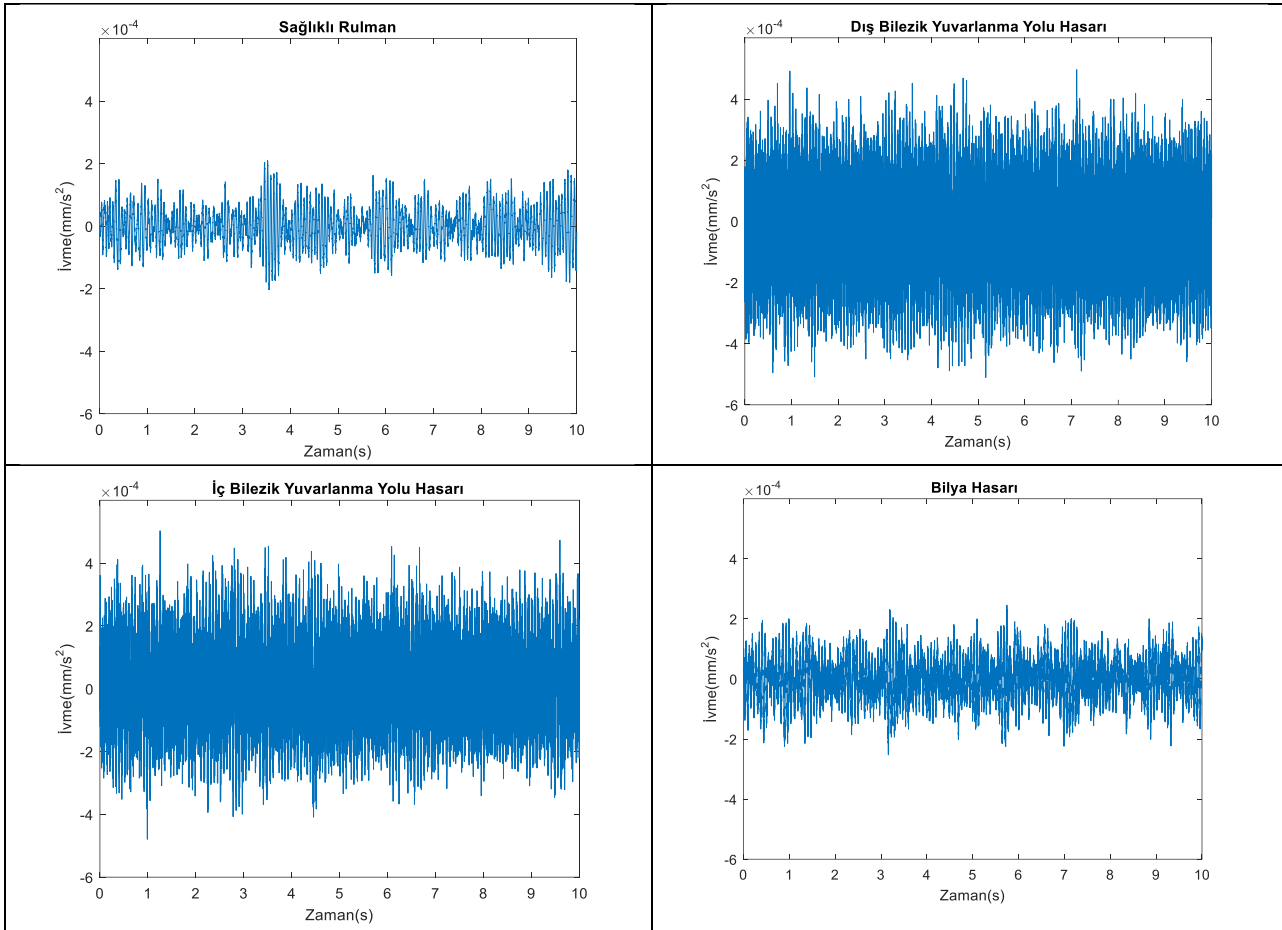
gürültü seviyesinin en düşük, dış bilezik yuvarlanma yolu hasarlı rulmanın ise en yüksek gürültü seviyesine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Sağlıklı rulman (a), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), İç bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (c), Bilya hasarına sahip rulman (d) titreşiminin frekans bölgesi analizi gösterimleri



Şekil 6. Sağlıklı rulman (a), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), İç bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (c), Bilya hasarına sahip rulman (d) titreşiminin zarf analizi gösterimleri



Şekil 7. Sağlıklı rulman (a), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), İç bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (c), Bilya hasarına sahip rulman (d) gürültü verisi zaman bölgesi analizi gösterimleri

Sağlıklı ve hasarlı rulmanlara ait gürültü verilerinin frekans spektrumları Şekil 8’de gösterilmiştir. 4 farklı frekans spektrumu incelendiğinde hatanın varlığı görülmekle beraber karakteristik frekanslarla ilgili bakıldığında ise karakteristik frekanslarla ilgili bilgi elde edilememektedir. Bu sebeple gürültü verilerine de zarf analizi uygulanmış ve zarf spektrumları çizdirilmiştir. Şekil 9’da görülen zarf spektrumları incelendiğinde ve kıyaslandığında her farklı hata tipinin karakteristik frekansında ve katlarında harmonikler gözlemlenmiştir. Hata frekansları dışında, rulmanın bağlı olduğu milin dönme frekansı rulman hata frekansları ile birleşerek yan bantlar oluşturmuştur. Titreşimler düzenli olarak izlendiğinde rulman bilezikleri ve bilyalardaki aşınmanın

ilerlemesine bağlı olarak, hata frekansları ve yan bantlarındaki bileşenlerin genliğinde bir artış görülmüştür.

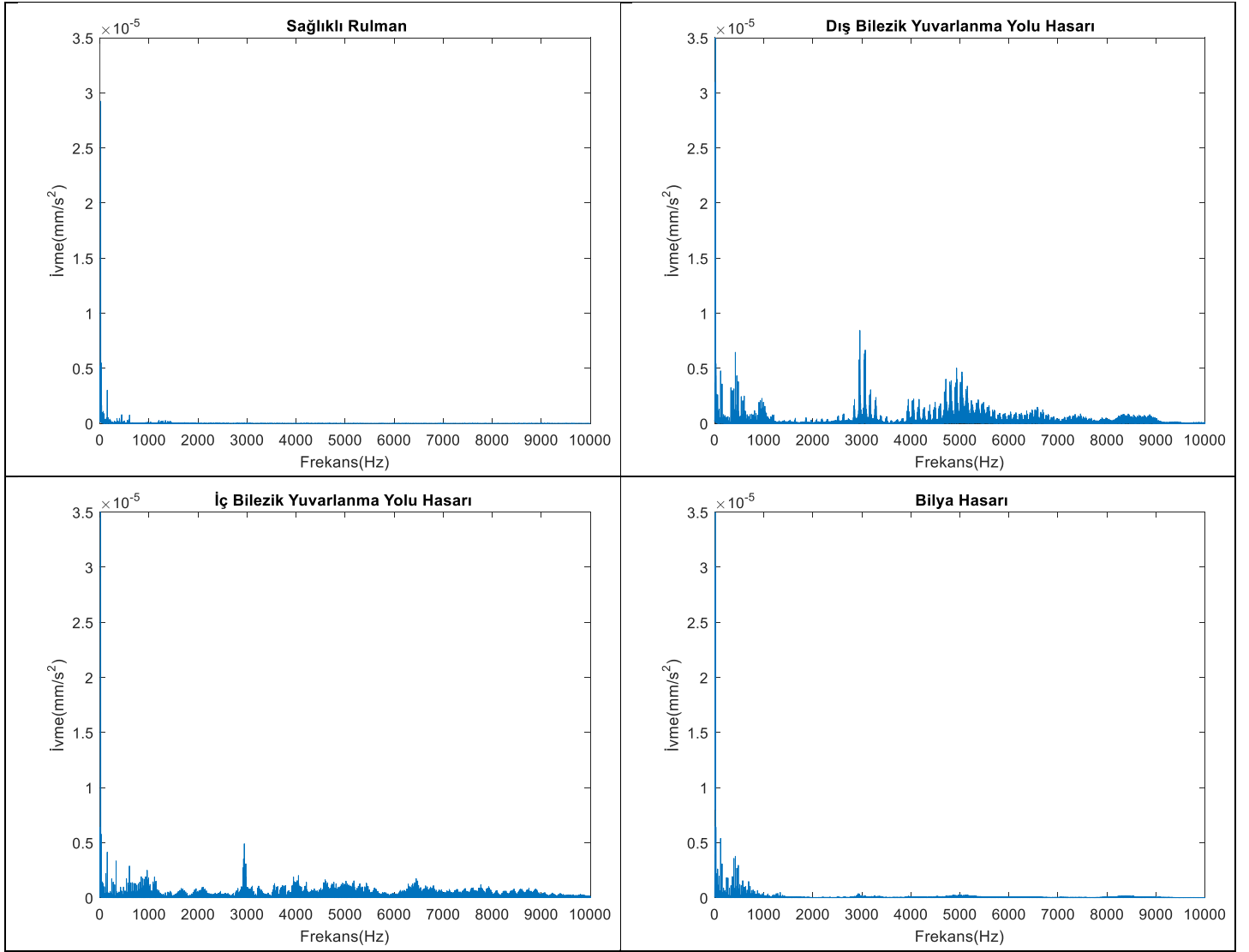
Gürültü ölçümü yarım küre oluşturularak yapıldığı için Tablo 3’de bu açılardaki gürültünün dB cinsinden sayısal değerleri verilmiştir. Farklı hasarlara sahip rulmanların meydana getirdiği gürültü seviyeleri karşılaştırılmıştır. Tablo 3’deki SPL değerlerine bakılıp, sağlıklı rulman ile hasarlı rulmanların gürültü seviyeleri karşılaştırıldığında, bilya hasarına sahip rulmanın gürültü seviyesinin en düşük, dış bilezik yuvarlanma yolu hasarlı rulmanın ise en yüksek gürültü seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. Farklı açılarda yapılan gürültü ölçümünün sayısal değerleri (dB)

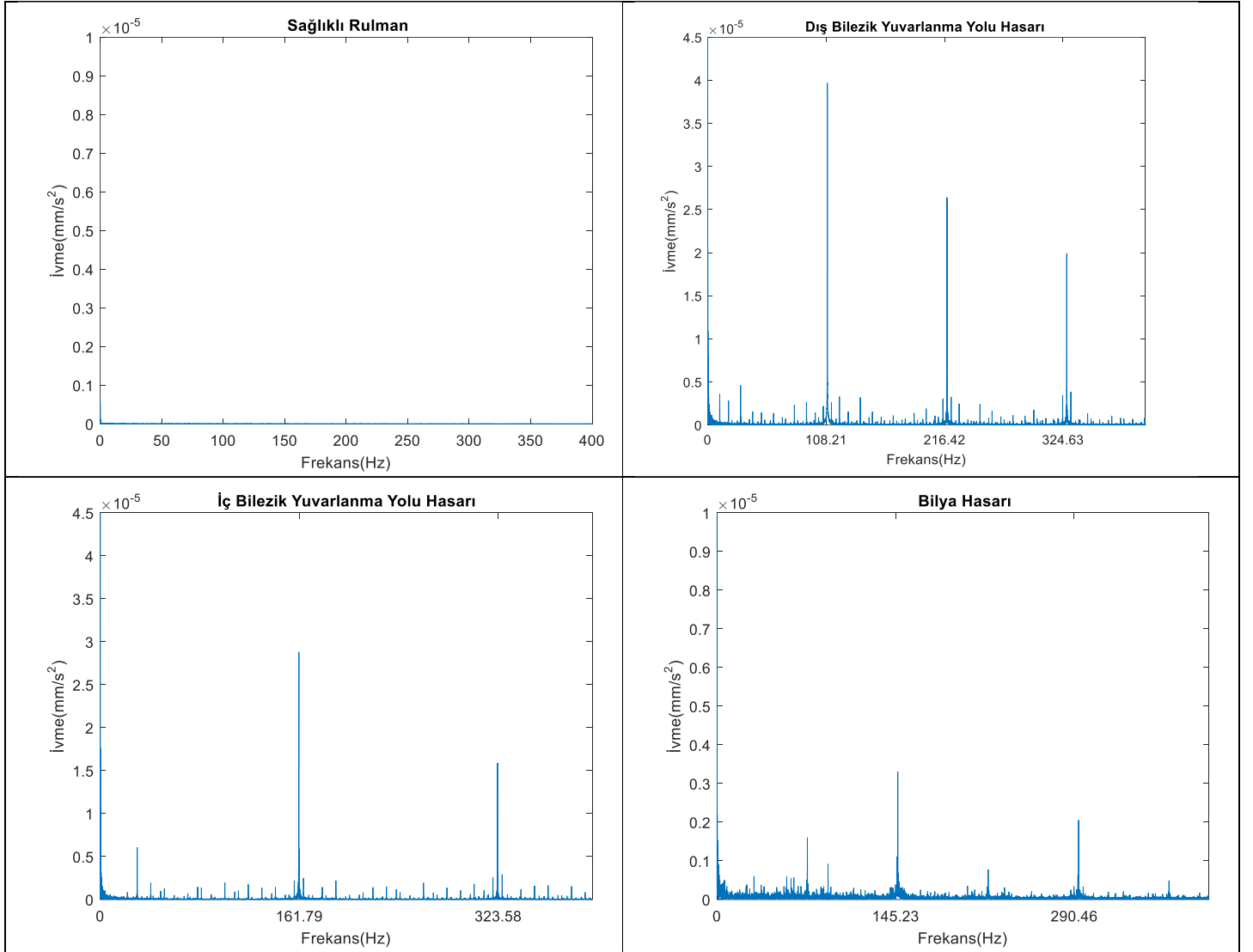
Mikrofon İle Rulman Arasındaki Aç					
Rulman Tipi	30°	60°	90°	120°	150°
Sağlıklı Rulman	57,6	56,6	56,4	56,4	56,3
Dış Bilezik Yuvarlanma Yolu Hasarlı Rulman	69,6	69,2	74,5	70,7	76,3
İç Bilezik Yuvarlanma Yolu Hasarlı Rulman	70,4	66,7	67,7	65,9	66
Bilya Hasarlı Rulman	59	59,2	58,4	56,7	54,9

Tablo 3. Sağlıklı ve hasarlı rulmanlarda ses ve gürültü değerleri

Rulman Tipi	SPL (dB)	P (Pa)	I (W)	Watt	L ₁ (dB)	L _w (dB)	Q (Yönelme Katsayısı)
Sağlıklı Rulman	58	0,016	6	4,4	57,8	56,4	1,81
Dış Bilezik Yuvarlanma Yolu Hasarlı Rulman	67,7	0,05	5,7	4,1	77,5	66,2	1,86
İç Bilezik Yuvarlanma Yolu Hasarlı Rulman	74,5	0,1	2,7	2	74,3	73	2,13
Bilya Hasarlı Rulman	58,4	0,02	6,7	4,8	58,2	56,8	1,2



Şekil 8. Sağlıklı rulman (a), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), İç bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (c), Bilya hasarına sahip rulman (d) gürültü verisi frekans bölgesi analizi gösterimleri



Şekil 9. Sağlıklı rulman (a), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), Dış bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (b), İç bilezik yuvarlanma yolu hasarına sahip rulman (c), Bilya hasarına sahip rulman (d) gürültü verisi zarf analizi gösterimleri

5. Sonuç

Bu çalışmada sağlıklı ve hasarlı sabit bilyalı rulmanlarda titreşim ve gürültü analizi ile hata tespitine yönelik deneyler yapılmıştır. Bu amaçla üç ayrı rulmanda dış bilezik yuvarlanma yolu, iç bilezik yuvarlanma yolu ve bilya hasarı oluşturulmuştur. Önceden bilinen bu hataların karakteristik arıza frekans değerleri ve ses basınç düzeyleri hesaplanmış ve deney sonuçları ile uyumluluğu incelenmiştir. Hem titreşim hem de gürültü verilerinin zaman ve frekans bölgesi gösterimlerinde hatanın varlığı ile ilgili bilgi edinilirken hatanın karakteristiği ile ilgili yeterli bilgi elde edilememiştir. Bu sebeple Hilbert dönüşümünden yararlanılarak zarf analizi yapılmış ve zarf spektrumları çizdirilmiştir. Zarf spektrumları incelendiğinde ise arıza frekansları ve katlarında harmonikler oluşmuştur. Oluşan harmonik değerleri ile hesaplanan arıza frekans değerleri örtüşmüştür. Ayrıca ses basınç düzeyi (SPL) değerlerine bakılıp, sağlıklı rulman ile hasarlı rulmanların gürültü seviyeleri karşılaştırıldığında, bilya hasarına sahip rulmanın gürültü seviyesinin en düşük, dış bilezik yuvarlanma yolu hasarlı rulmanın ise en yüksek gürültü seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak sağlıklı ve hasarlı rulmanların titreşim ve gürültü verilerine bakıldığında hatanın varlığı görülmüş, zarf

analizi ile de arıza karakteristiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada literatürde var olan diğer çalışmalardan farklı olarak rulman hasar tespitinde gürültü ölçümü metotları tercih edilmiştir. Gürültü ölçümü ile elde edilen sağlıklı ve hasarlı veriler kıyaslandığında gürültü ölçümü ile de hatanın varlığının tespit edilebildiği görülmüştür. Buradan yola çıkarak gelecek çalışmalarda elde edilen gürültü sinyallerine zaman frekans bölgesi analiz yöntemleri uygulanıp hatanın yerinin de tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Ek olarak titreşim sinyallerine birleşik zaman frekans bölgesi analiz yöntemleri uygulanarak hasarın yerinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

6. Teşekkür

Bu çalışma Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ar-Ge Merkezi'nde oluşturulan deney düzeneğinde yapılmıştır. Bu bildirinin yazarları, katkılarından dolayı Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasına teşekkür ederler.

Kaynakça

Ho, D. ve Randall, R.B. (2000). Optimisation of bearing diagnostic techniques using simulated and actual bearing

- fault signals. *Mechanical systems and signal processing*, 14(5): 763-788.
- Williams, T., Ribadeneira, X., Billington S. ve Kurfess, T. (2001). Rolling Element Bearing Diagnostics in Run-to-Failure Lifetime Testing, *Mechanical System and Signal Processing*, Cilt 15(5): 979-993.
- Rubini, R. ve Meneghetti U. (2001). Application of the envelope and wavelet transform analyses for the diagnosis of incipient faults in ball bearings. *Mechanical systems and signal processing*, 15(2): 287-302.
- Kıral, Z.ve Karagülle, H. (2005). Rulmanlı Yatak Geometrilerinde Bölgesel Hata Adedinin Titreşim Sinyalleri Üzerindeki Etkisinin Zaman Ve Frekans Ortamlarında İncelenmesi. 12. *Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Kayseri, Türkiye 9-11 Haziran 2005*.
- Arslan, H., Aslan, E. ve Aktürk, N. (2006). Bilyalı Rulman Hasarlarının titreşim analizi yöntemiyle incelenmesi. *Gazi Üni. Müh. ve Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 21(3): 541-552.
- Aliustaoğlu, C., Ocak, H. ve Ertunç, H., M. (2007). Rulman Titreşim Analizi ile Bölgesel Hataların İncelenmesi, *TOK '07 Bildiriler Kitabı*.
- Jayaswal, P. and Wadhvani, A.K (2009). Application of Artificial Neural Networks Fuzzy Logic and Wavelet Transform in Fault Diagnosis via Vibration Signal Analysis: A review, *Australian Journal of Mechanical Engineering*, Cilt 7(2): 157-171.
- Boukhobza, M.E., Derouiche, Z., Foitih,Z., A. (2013). Location and Evaluation Of Bearings Defects By Vibration Analysis And Neural Networks, *Mechanics*, Cilt 19(4): 459-465.
- Bayram, S., Kaplan, K., Kuncan, K. ve Ertunç. H. M. (2014). Rulman Hatalarının Dalgacık Dönüşümü Yöntemi Kullanarak Elde Edilen Katsayılara Etkisi, *IEEE 22nd Signal Processing, Communication and Applications Conference*.
- Yeşilyurt, İ. ve Özdemir, Ö. (2015). Dengesiz Yüke Maruz Silindirik Masuralı Rulman Arızasının Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü Yardımıyla Belirlenmesi. *Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu, İzmir, Türkiye 14-17 Haziran 2015*.
- Glowacz A, Glowacz W, Glowacz Z, Kozik J (2018). Early fault diagnosis of bearing and stator faults of the single-phase induction motor using acoustic signals. *Measurement* 113, (1-9).
- Wang, X., Mao, D. ve Li, X. (2020). Bearing fault diagnosis based on vibro-acoustic data fusion and 1D-CNN network. *Measurement*, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108518>.
- Ozkat, E. C. (2021). Makine Öğrenmesi Metodolojisi Kullanılarak Yüksek Hızlı Rulmanlarda Sağlık Göstergesinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 176-183.



Antik Konuralp Kentinde Tarihsel Dönem Depremlerinin Antik Yapılara Etkisinin ve İzlerinin Araştırılması

Ali Ateş^{1*}

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye, (ORCID:0000-0001-6297-85-71), aliates@ibu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 4 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.938673)

ATIF/REFERENCE: Ateş, A. (2021). Antik Konuralp Kentinde Tarihsel Dönem Depremlerinin Antik Yapılara Etkisinin ve İzlerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 582-593.

Öz

Düzce ili Dünyada ve Türkiye’de aktif hareketliliğin en yoğun olarak yaşandığı bir kuşak üzerindedir. Avrupa ve Asya kıtaları arasında, Karadeniz ve Akdeniz ile sınırlanan sismik bir bölgede yer almaktadır. Çalışma alanını etkileyen en önemli fay ise Kuzey Anadolu Fay Zonu’dur (KAFZ). KAFZ sismik aktivite yüksek olan bir fay zonudur. 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım Düzce Depremi bu fay zonu üzerinde meydana gelmiştir. Ayrıca bu bölgede yıkıcı hasarlar, can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. Tarihi ve aletsel kayıtlara bakıldığında yıkıcı depremlerin meydana geldiği tarihi kalıntılardan ve yeraltında kalmış enkazlardan anlaşılmaktadır. Bu çalışmada Düzce ilinde yer alan ve tarihi ve arkeolojik harabeler ve tarihi Prusias kentinin de yok olmasına sebep olmuş tarihsel dönem depremleri ve izleri araştırılmıştır. Ayrıca, Konuralp yerleşkesi çevresinde bulunan antik kentteki bazı tarihi yapılarda tarihsel depremlerin meydana getirdiği izler ve arkeolojik kalıntılardan örnekler sunulmuştur. Bu araştırmada tarihi antik kentlerdeki Roma dönemine ait bazı tarihi kalıntıların karakteristikleri belirtilerek oluşan depremler neticesinde meydana gelen hasarlar incelenmiştir. Araştırma sonunda Konuralp çevresinde meydana gelen yer hareketlerinin etkilediği antik dönem yapılarının bu depremler sonucunda tamamen yıkıldığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konuralp (Düzce), tarihsel dönem depremler, antik harabeler, Roma kalıntıları

Investigations of the Effect and Traces of Historical Period of Earthquake to the Antique Structures in the Antique Konuralp City

Abstract

Düzce province is located where the land has the most movability; this is seen on the belt in the World. It is located in a seismic zone between the European and Asian continents bordered by the Black Sea and the Mediterranean. The most important fault affecting the study area is the North Anatolian Fault Zone (NAFZ). NAFZ is a fault zone which has high activity. The earthquake of the 17 th of August 1999, located in İzmit and the earthquake of the 12 th of November in Düzce, has occurred on this fault zone, with devastating damages, loss of life and property under the light of looking at the historical and instrumental records, it is understood from the historical remains and underground debris that devastating earthquakes have occurred. The earthquakes have been investigated and traced to the ancient city of Prusias in Düzce Province, where the destruction of historic magnitude and archaeological ruins have been discovered. In addition, the samples which belong to the historical ruins created by the earthquakes could have now been seen on the ancient structures in the historic city around the Konuralp campus. In this research, the characteristics of some historical ruins belonging to the Roman period in historical ancient city was determined and damages caused by earthquakes were investigated. At the end of the research, it is was concluded that the ancient period of buildings affected by the ground movements which occurred in Konuralp Campus were completely destroyed as the result of these earthquakes.

Keywords: Konuralp (Düzce), historical earthquakes, historical ruins, Roman ruins

* Sorumlu Yazar: aliates@ibu.edu.tr

1. Giriş

Türkiye, Doğu Anadolu sınırımızda İran'dan başlayarak, yine ülkemizin batı sınırında Tekirdağ körfezinde sonlanan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve ayrıca Arap Plakasının devamı niteliğinde olan Bitlis-Zagros Bindirme bölgesi olarak tanımlanan fay zonuna paralel bir şekilde Türkiye'nin doğusundan başlayarak Türkiye'nin güneyinde son bulan Doğu Anadolu Fay Zonu ile sınırlanmıştır. Türkiye, Alpin sisteminin kuzey ve güneyden etkisi altında olduğu için Hersiniyen Orojenize ait izler, genel olarak bozulmuştur. Kuzeydeki kol, tektonik bakımdan tali bölümlere ayrılmaktadır [1]. Kuzey Anadolu'da doğu batı doğrultusunda uzanan devamlı bir çöküntü alanı yer alır. Saros körfezinden başlayarak Kuzey Marmara çukuru ve Düzce – Bolu depresyon alanını içine alan bir hat mevcuttur. Bu hat Kelkit vadisi, Erzincan Erzurum Pasinler'i içine alarak Aras çukurluğu ile Türkiye'den çıkmaktadır [1].

Bu bağlamda Ülkemiz aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu fay zonlarına ilave olarak Ege bölgesi Batı Anadolu fay zonu da aktivitesi ile aktif deprem bölgeleri arasındadır. Bu bağlamda aletsel dönem ve tarihsel kayıtlara bakıldığında çok sayıda yıkıcı depremler yaşanmıştır. Bu yıkıcı depremlerin son örneği 30 Ekim 2020'de İzmir'de (Mw=6,9) 6,9 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş, can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Düzce, aktif bir deprem kuşağı içinde yer almaktadır. Tektonik bakımdan çok hareketli olan bu bölge Düzce'de de etkisini göstermektedir. Düzce ve çevresinin zemin yapısı henüz oturmuş ve yerleşmiş jeolojik bir yapıda değildir. Düzce bölgesi tarihsel ve aletsel dönemlerde de çok sayıda deprem yaşamıştır. Son dönemde 17 Ağustos 1999'da Adapazarı İzmit depremi 7,4 büyüklüğünde bir deprem olarak kayıtlara geçmiştir.

Bu depremin devamında 12 Kasım 1999 tarihinde Düzce'de 7,2 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerde bölgede çok sayıda can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Bu bölge aktivitesinin yüksekliği ile bilinmektedir [1, 2]. Bu çalışmada Düzce ve Çevresinin tarihsel dönem depremlerinin bu bölgede yaşamış uygarlıklara ve uygarlıkların meydana getirdiği antik yapıları etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda bu bölgede olmuş depremler ve yine bu bölgenin depremselliği ve etkileri araştırılmıştır.

2. Konuralp ve Çevresinin Depremselliği

Düzce ve çevresi depremsellik açısından ülkemizin ve Dünyanın aktif ve risk seviyesi yüksek, bir deprem kuşağı üzerindedir. Ve çalışma bölgesi Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) etki alanı içindedir. Anadolu levhası, Avrasya ve Arap levhasının etkisi ile Batı yönünde Helenik Yay tarafına doğru saatin tersi yönünde hareket etmektedir. Afrika Levhası ise Helenik Yay ve Kıbrıs Yayı boyunca Anadolu levhasının altına doğru ilerlemektedir [3].

Asya-Avrupa levhası ile güneyde Anadolu levhacığını birbirinden ayıran Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), yaklaşık uzunluğu 1200 km olan sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay sistemi olup ülkemizin en önemli tektonik yapılarından biridir ve bu fay sisteminin çalışma alanını da etkileyeceği bilinmektedir. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin bu zon üzerinde

meydana gelmesi aktivitenin devam ettiğinin açık bir işaretidir. Türkiye Diri Fay Haritasında çalışma alanı ve çevresinde risk oluşturabilecek 3 adet diri fayın mevcut olduğu bilinmektedir [4]. Bunlar;

Düzce Fayı; Düzce Havzasını morfolojik olarak Düzce ilini güneyden sınırlayan bu fay, Akyazı, Düzce arasında toplam 80 km uzunluğundadır. Birbirini bütünleyen üç alt parçadan (segment) oluşan Düzce Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı sismik olarak aktivitesi belirgin faydır. Fayın Akyazı bölümünde Kuvaterner öncesi temel kayalar içerisinde geçtiği izlenmektedir. Bu fay sistemi aktivitesini 17 Ağustos ve 12 Kasım depremleriyle de ortaya koymuştur. 17 Ağustos depreminde (M=7,4) gelişmiş olan 130 km. uzunluğundaki yüzey kırığının 30 km'lik doğu segmenti Düzce Fayı üzerinde bulunmaktadır.

Hendek Çilimli Fayı Düzce Havzası batısında Sapanca Gölü-Hendek-Cumayeri arasında uzanan D-GB uzanımlı fay Hendek Fayı olarak adlandırılmaktadır. Sağ yönlü doğrultu atımlı olan bu fay yaklaşık 50 km uzunluğunda olduğu bilinmektedir [4]. Adapazarı Ovasında olası olarak haritalanmış olan bu fay Hendek-Cumayeri arasında 25 km'lik bölümünde morfolojik olarak çok belirgin bir şekilde mostra vermektedir. Morfolojide sağ yönde ötelenmeler ve büyük boyutlu basınç sırtlarının gelişmiş olduğu zonda Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karapürçek formasyonu bu fay tarafından kesilmekte, fay bu formasyonla temel kayalar arasında dokanak oluşturmakta, doğu bölümünde ise temel kayalar içerisinde devam etmektedir. 1994 Düzce-Hendek depremi (M=6,5) olasılıkla bu fay üzerinde gerçekleşmiş olduğu bilinmektedir [4,5]. Fay üzerinde son depremlerde Hendek'in kuzeybatısında yüzey kırığı tespit edilmiş ve gözlenmiştir. Oluşan bu kırık sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Kırık boyunca küçük boyutlu deformasyonlar, 2-5 cm. arasında sağ yönlü ötelenmeler ve kaymalar gelişmiştir. Fay üzerinde tespit edilen ve boyutu ile oransız olan bu yüzey kırılması 17.08.1999 depremiyle Hendek fayı üzerinde aşırı stres birikiminin olduğunu gösteren bir veri olarak kabul edilmektedir [4,5]. Çalışma alanının etkisi altında olduğu diri faylar Şekil 1'de sunulmuştur.

KAFZ ve etkisi altında olan çalışma alanında geçmişten günümüze kadar tarihsel ve aletsel kayıtlarda bir çok deprem kaydı mevcuttur. Bunlardan en önemlileri ve son depremler 17 Ağustos 1999 (Mw=7,4) ve 12 Kasım 1999 (Mw=7,2) depremleridir [5].



Şekil 1. Çalışma alanı tektonik yapı ve Düzce Fayının kolları (Özmen 2000'den alınmıştır) [5]

2.1. Konuralp ve Çevresinin Deprem Tehlike Analizi

Düzce ve Çevresini etkileyen aletsel dönem depremleri (1900–2016) Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünün deprem verilerinden derlenmiş ve deprem risk

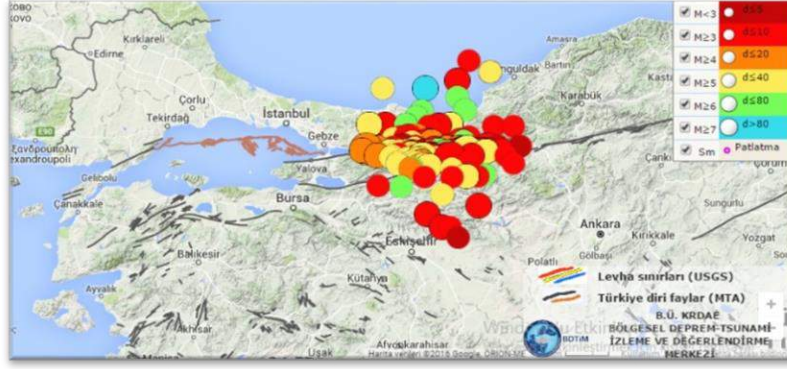
analizlerinde bu veriler kullanılmıştır. 1900 ila 24.07.2016 yılları arasında 100 km'lik bir dairesel yarı çapta, magnitudü 4,5-7,5 arasında olan 132 adet deprem kayıtlara geçmiştir (Çizelge 1), (Şekil 2, 3), [6].

Çizelge 1. Çalışma alanında 100 km'lik çap içinde meydana gelen tarihsel depremler [6]

No	Deprem Kodu	Enlem	Boylam	Der (Km)	M	Yer
1	20141022171105	40.4065	30.1147	007.5	4.5	Taşoluk-Geyve (Sakarya) [South West 3.4 Km]
2	20131124204937	40.7848	31.8763	007.6	4.6	Ulumescit (Bolu) [North East 0.4 Km]
3	20060208040741	40.7108	30.3648	008.7	4.5	Arifiye (Sakarya) [South East 0.4 Km]
4	20040413214722	40.7500	31.6400	0010	4.6	Yeniköy (Bolu) [South 2.6 Km]
5	20030521082150	40.7800	30.9600	0014	4.5	Yeşilova-Gölyaka (Düzce) [North East 0.6 Km]
6	20010826004112	40.9800	31.5400	0006	4.6	Ciftlik-Yığılca (Düzce) [South 0.9 Km]
7	20000823134127	40.7100	30.7500	0009	5.0	Çamlıca-Hendek (Sakarya) [North West 0.6 Km]
8	20000214065634	40.9800	31.7800	0009	4.8	Yeşilöz-Devrek (Zonguldak) [South West 7.3 Km]
9	19991213191337	40.7000	30.7400	0007	4.7	Çamlıca-Hendek (Sakarya) [South West 1.3 Km]
10	19991119195907	40.7800	30.9700	0009	5.0	Yazlık-Gölyaka (Düzce) [South West 0.4km]
11	19991117081526	40.8000	31.4600	0009	5.0	Kızılağıl (Bolu) [North West 5.9 Km]
12	19991116175117	40.7900	31.6000	0001	4.9	Kozlu (Bolu) [South West 1.3 Km]
13	19991113025200	40.7800	30.3000	0010	4.7	Cubuklu-Serdivan (Sakarya) [North East 0.3 Km]
14	19991113005400	40.7200	31.0000	0010	4.7	Bakacak-Gölyaka (Düzce) [South East 2.4 Km]
15	19991112222100	40.7500	31.3900	0010	4.8	Darıyeri bakacak-Kaynaslı (Düzce) [East 0.4 Km]
16	19991112205400	40.7600	31.3800	0010	4.5	Darıyeri bakacak-Kaynaslı (Düzce) [North West 1.2Km]
17	19991112200500	40.7400	31.0000	0010	4.5	Yunusefendi-Gölyaka (Düzce) [South West 1.1 Km]
18	19991112191600	40.7400	31.3800	0010	4.7	Yeşiltepe-Kaynaslı (Düzce) [North East 0.2 Km]
19	19991112190700	40.7700	31.2000	0010	4.5	Güven (Düzce) [South West 0.5 Km]
20	19991112182400	40.7600	31.1100	0010	4.7	Aydınşınar (Düzce) [South East 0.3 Km]
21	19991112181400	40.7500	31.3600	0010	5.0	Yeşiltepe-Kaynaslı (Düzce) [North West 2.0 Km]
22	19991112180500	40.7000	31.7000	0010	4.7	Demirciler (Bolu) [North East 1.8 Km]
23	19991112175700	40.7400	31.4000	010	4.8	Darıyeri bakacak-Kaynaslı (Düzce) [South East 1.6 Km]
24	19991112175400	40.7700	31.2600	0010	4.7	Fındıklı-Kaynaslı (Düzce) [South East 0.4 Km]
25	19991112175200	40.7600	31.2200	0010	4.8	Özyanık (Düzce) [South West 1.4 Km]
26	19991112174700	40.7200	30.9500	0010	4.8	Saçmalıpınar-Gölyaka (Düzce) [South 1.7 Km]
27	19991112173000	40.7500	31.4500	0010	5.2	Elmalık (Bolu) [North 2.2 Km]
28	19991112172700	40.7500	31.4000	0010	5.2	Darıyeri bakacak-Kaynaslı (Düzce) [East 1.2 Km]
29	19991112172300	40.7600	31.1600	0010	5.1	Kaledibi- (Düzce) [South West 1.3 Km]
30	19991112171800	40.7400	31.0500	0010	5.4	Hamamüstü-Gölyaka (Düzce) [South East 1.2 Km]
31	19991112171700	40.7500	31.1000	0010	5.2	Aydınşınar (Düzce) [South West 1.6 Km]
32	19991112165720	40.7400	31.2100	0025	7.2	Uğur (Düzce) [North East 0.3 Km]
33	19991111144125	40.7400	30.2700	0022	5.7	Aşağıdereköy-Serdivan (Sakarya) [South 1.6 Km]
34	19991107165442	40.7100	30.7000	0010	5.0	Altındere-Akyazı (Sakarya) [North 2.1 Km]
35	19990917194906	40.7200	30.1000	0015	4.5	Sirinsulhiye-Kartepe (Kocaeli) [North 2.3 Km]
36	19990913115528	40.7700	30.1000	0019	5.8	Bayraktar-Izmit (Kocaeli) [South East 2.0 Km]
37	19990831083323	40.7800	29.9600	0010	4.6	Izmit (Kocaeli) [North East 3.1 Km]
38	19990831081051	40.7500	29.9200	0017	5.2	Kocaeli [South West 0.8]
39	19990829101455	40.8800	31.2300	0007	4.8	Esentepe (Düzce) [South West 1.6 Km]
40	19990822143059	40.7400	30.6800	0005	5.0	Ortaköy-Hendek (Sakarya) [North East 0.9 Km]
41	19990819130412	40.7900	30.5800	0006	4.8	Catalköprü-Akyazı (Sakarya) [North East 1.1 Km]
42	19990817211407	40.4900	31.0200	0006	4.5	Güveytepe-Mudurnu (Bolu) [South East 1.1 Km]

43	19990817115809	40.5700	30.5100	0016	4.5	Belpınar-Geyve (Sakarya) [North East 3.8 Km]
44	19990817090212	40.7700	31.1100	0016	5.0	Çınarlı (Düzce) [North West 0.2 Km]
45	19990817031401	40.6400	30.6500	0015	5.5	Kuzuluk-Akyazı (Sakarya) [North East 1.5 Km]
46	19990817000137	40.7600	29.9700	0018	7.4	Başiskele (Kocaeli) [North East 2.0 Km]
47	19790628212209	40.7800	31.8500	0000	4.7	Yayladınlar- (Bolu) [South East 0.8 Km]
48	19700419133341	40.0000	30.9000	010.0	5.3	Taycılar-Tepebaşı (Eskisehir) [North West 2.4 Km]
49	19690212084305	40.7000	30.2900	030.0	4.6	Uzunkum-Sapanca (Sakarya) [West 1.8 Km]
50	19680328171220	40.5000	31.3400	006.0	4.8	Dedeler-Mudurnu (Bolu) [South East 2.4 Km]
51	19680318054000	40.8300	30.5300	039.0	4.7	Yeşilyurt-Adapazarı (Sakarya) [North East 1.4 Km]
52	19670918233934	40.8600	30.3000	033.0	4.5	Nasuhlar-Adapazarı (Sakarya) [South 2.3 Km]
53	19670814200925	40.7400	30.3700	025.0	4.8	Serdivan (Sakarya) [South East 2.8 Km]
54	19670814113419	40.6800	30.2700	033.0	4.5	Nailiye-Sapanca (Sakarya) [North West 0.2 Km]
55	19670814014556	40.7500	30.3800	023.0	4.5	Serdivan (Sakarya) [South East 2.3 Km]
56	19670802153323	40.6700	30.4600	030.0	4.5	Kayalar Resitbey-Erenler (Sakarya) [South East 1.9 Km]
57	19670801010510	40.4000	30.4000	046.0	4.5	Aydınlar-Geyve (Sakarya) [South East 1.6 Km]
58	19670801001334	40.7200	30.5200	026.0	4.9	Teketaban-Karapürçek (Sakarya) [North 3.8 Km]
59	19670730190548	40.7000	30.8000	010.0	4.5	Bakacak-Hendek (Sakarya) [South West 0.5 Km]
60	19670730185846	40.7500	30.4600	027.0	4.8	Küçük Esence-Erenler (Sakarya) [South West 3.7 Km]
61	19670730102510	40.7700	30.5600	022.0	4.5	Çatal Köprü-Akyazı (Sakarya) [South West 1.9 Km]
62	19670730015718	40.7000	30.5800	007.0	4.5	Meşepınarı-Karapürçek (Sakarya) [North East 3.1 Km]
63	19670730013101	40.7200	30.5200	018.0	5.7	Teketaban-Karapürçek (Sakarya) [North 3.8 Km]
64	19670730011931	40.7100	30.5800	023.0	4.9	Bediltahirbey-Akyazı (Sakarya) [South East 4.0 Km]
65	19670726091606	40.6100	30.6700	021.0	4.6	Şerefiye-Akyazı (Sakarya)
66	19670723231914	40.6100	30.6300	015.0	4.6	Taşburun-Akyazı (Sakarya) [East 1.1 Km]
67	19670723155709	40.6300	30.5900	023.0	4.7	Bickidere-Akyazı (Sakarya) [North East 1.2 Km]
68	19670723074223	40.7400	30.3600	011.0	4.4	Serdivan (Sakarya) [South 2.6 Km]
69	19670723044855	40.6300	30.3600	033.0	4.9	Boğazkoy-Geyve (Sakarya) [South 1.7 Km]
70	19670723040339	40.6100	30.3500	021.0	4.8	Fındıksuyu-Geyve (Sakarya) [North West 1.3 Km]
71	19670722234159	40.6400	30.5300	030.0	4.9	Karapürçek (Sakarya) [South West 0.9 Km]
72	19670722220835	40.8000	30.5200	040.0	4.6	Hacılar-Adapazarı (Sakarya) [South East 1.2 Km]
73	19670722212741	41.0000	30.4500	049.0	4.8	Konuklu-Ferizli (Sakarya) [North West 0.6 Km]
74	19670722212141	41.0000	30.4500	049.0	4.9	Konuklu-Ferizli(Sakarya) [North West 0.6 Km]
75	19670722203540	40.7900	30.4200	004.0	5.0	Köprübaşı-Adapazarı (Sakarya) [South West 1.7 Km]
76	19670722194730	41.0700	30.5900	059.0	4.9	Konacık-Karasu (Sakarya) [North West 0.7 Km]
77	19670722181400	40.7000	30.8000	010.0	4.5	Bakacak-Hendek (Sakarya) [South West 0.5 Km]
78	19670722180955	40.7200	30.5100	035.0	5.4	Ekinli-Erenler (Sakarya) [North East 3.5 Km]
79	19670722180854	40.7000	30.8000	010.0	4.8	Bakacak-Hendek (Sakarya) [South West 0.5 Km]
80	19670722174806	40.6600	30.6200	026.0	5.2	Alağaç-Akyazı (Sakarya) [North West 0.5 Km]
81	19670722173007	40.7300	30.5300	010.0	5.1	Bediltahirbey-Akyazı (Sakarya) [South West 2.7 Km]
82	19670722171854	40.7000	30.8000	010.0	4.5	Bakacak-Hendek (Sakarya) [South West 0.5 Km]
83	19670722171410	40.7000	30.8000	006.0	5.5	Bakacak-Hendek (Sakarya) [South West 0.5 Km]
84	19670722165658	40.6700	30.6900	033.0	6.2	Güzlek-Akyazı (Sakarya) [North 1.5 Km]
85	19670407174007	40.0000	31.0000	010.0	4.5	Belkese-Alpu (Eskişehir) [East 0.9 Km]
86	19661230015709	40.7400	30.7400	031.0	4.5	Suleymaniye-Hendek (Sakarya) [South West 0.2 Km]
87	19641213140902	40.7000	31.0000	010.0	4.5	Camlıbel-Gölyaka (Duzce) [South West 4.3 Km]
88	19581123130738	40.4900	30.6900	010.0	4.6	Kaşıkcıseyhler-Göynük (Bolu) [North 2.5 Km]
89	19570602011200	40.7100	30.7800	010.0	4.9	Kızanlı-Hendek (Sakarya) [South West 1.6 Km]
90	19570601210820	40.6800	30.8400	040.0	4.9	Kurtuluş-Hendek (Sakarya) [South East 1.2 Km]
91	19570601052659	40.7500	30.8600	050.0	5.3	Değirmentepe-Gölyaka (Duzce) [North West 1.8 Km]

92	19570530142951	40.6500	31.2400	010.0	4.5	Samandere (Düzce) [South West 5.5km]
93	19570530130756	40.6200	31.7800	010.0	4.5	Çaygökpınar (Bolu) [Southeast 1.0 Km]
94	19570529101748	40.8300	30.7700	020.0	5.2	Nuriye-Hendek (Sakarya) [North East 2.0 Km]
95	19570529084752	40.7200	31.0400	020.0	4.9	Güzeldere-Gölyaka (Duzce) [South 0.6 Km]
96	19570528053348	40.5700	31.0200	040.0	4.9	Taskesti-Mudurnu (Bolu) [South East 1.1 Km]
97	19570528000953	40.5800	30.5300	050.0	4.9	Ahmediye-Karapürçek (Sakarya) [South West 3.8 Km]
98	19570527110134	40.7300	30.9500	050.0	5.8	Saçmalpınar-Gölyaka (Duzce) [South West 0.6 Km]
99	19570527082424	41.1300	30.6500	070.0	4.8	Ihsaniye-Karasu (Sakarya) [North East 1.5 Km]
100	19570527070514	40.8400	31.1700	080.0	4.9	Düzce (Düzce) [North East 0.6 Km]
101	19570527062037	41.1400	31.1900	080.0	4.5	Beyhanlı-Akçakoca (Duzce) [North West 6.5 Km]
102	19570526093638	40.7600	30.8100	010.0	5.9	Harmantepe-Hendek (Sakarya) [South 0.9 Km]
103	19570526091640	41.4200	31.0900	010.0	5.2	Akçakoça- Açıkları-Düzce
104	19570526091359	41.3400	30.7000	100.0	5.3	Kocaali Açıkları-Sakarya
105	19570526085451	40.6000	30.7400	040.0	5.5	Durmuşlar-Akyazı (Sakarya) [North West 1.0 Km]
106	19570526063335	40.6700	31.0000	010.0	6.7	Güzeldere-Gölyaka (Duzce) [South West 7.1 Km]
107	19560714190107	40.3200	30.9000	040.0	4.8	Dedeler-Göynük (Bolu) [North East 0.6 Km]
108	19560106145259	41.0000	30.2000	010.0	5.2	Mancarlar-Kandıra (Kocaeli) [South East 0.9km]
109	19520122231500	40.8000	30.4000	015.0	4.6	Adapazarı (Sakarya) [North 2.4 Km]
110	19491128184718	40.9800	30.7400	010.0	4.9	Kurudere-Karasu (Sakarya) [South West 0.3 Km]
111	19481213020000	41.0000	30.0000	015.0	4.5	Hacışeyh-Kandıra (Kocaeli) [North West 0.9 Km]
112	19450209022800	40.5000	31.2000	030.0	5.2	Esenkaya-Mudurnu (Bolu) [South East 2.4 Km]
113	19440405044043	40.8400	31.1200	010.0	5.6	Mamure (Düzce) [South East 0.8 Km]
114	19440202033317	40.7400	31.4400	040.0	5.3	Elmalık (Bolu) [North West 1.4 Km]
115	19440201060852	40.7000	31.2700	010.0	5.3	Samandere (Düzce) [North East 0.6 Km]
116	19430906163247	40.2100	31.3500	010.0	5.2	Akdere-Nallıhan (Ankara) [North East 1.8 Km]
117	19430620164757	40.8400	30.7300	010.0	5.6	Kahraman-Hendek (Sakarya) [North 3.0 Km]
118	19430620153254	40.8500	30.5100	010.0	6.4	Türkbeylikışla-Soğutlü (Sakarya) [South East 0.9 Km]
119	19400613110200	41.3400	30.1700	030.0	4.8	Ağva Açıkları-İstanbul (Karadeniz)
120	19330515032305	41.2600	31.0900	060.0	4.9	Akçakoca Açıkları Düzce (Karadeniz)
121	19330205053000	41.5000	31.5000	010.0	6	Kozlu Açıkları Zonguldak
122	19321015221954	40.9000	30.6000	015.0	4.7	Aktefek-Hendek (Sakarya) [South East 1.3 Km]
123	19290427221806	40.5100	31.4300	070.0	4.9	Sarpıncık-Mudurnu (Bolu) [South West 1.9 Km]
124	19290405231815	41.5000	31.5000	033.0	4.9	Kozlu Açıkları-Zonguldak (Karadeniz)
125	19290405082655	41.6100	31.2300	010.0	4.8	Ereğli Açıkları-Zonguldak
126	19280124073611	40.9900	30.8600	010.0	5.5	Kovukpelit-Kocaali (Sakarya) [South East 0.7 Km]
127	19261216175405	40.1300	30.7200	010.0	5.8	Beyyayla-Sarıcakaya (Eskisehir) [South East 1.5 Km]
128	19250624000034	40.8800	30.3900	010.0	4.8	Kayrancı-Adapazarı (Sakarya) [South East 4.4 Km]
129	19230529113402	41.0000	30.0000	025.0	5.6	Hacışeyh-Kandıra (Kocaeli) [North West 0.9 Km]
130	19070821000000	40.7000	30.1000	015.0	5.6	Sirinsulhiye-Kartepe (Kocaeli) [East 0.3 Km]
131	19051022034200	41.0000	31.0000	027.0	5.4	Esmahanım-Akçakoca (Duzce) [North East 1.4 Km]
132	19050501190001	39.9000	31.1000	005.0	4.9	Ağaçisar-Alpu (Eskisehir) [South West 4.6 Km]



Şekil 2. Düzce ve çevresi 100 km çapında tarihsel depremlerin harita dağılımı [6]



Şekil 3. Konuralp yerleşkesi 1900-2016 yılları arasında oluşmuş 4.5 ve daha büyük depremlerin dağılım grafiği [6]

Düzce ve 100 km çevresindeki 4,5’den büyük deprem kayıtlarından hareketle, inceleme alanı için Poisson Olasılık Dağılımı ile Probabilistik Deprem Tehlike Analizi yapılmıştır. Analizde, Mikrosoft®exel yazılım programı kullanılmıştır [7]. Depremsellik açısından, Düzce ve çevresini etkileyen Düzce fayının başlıca ana kaynağı KAFZ’dur. Dolayısıyla, Düzce ilinin deprem tehlikesini belirlemede, çalışma alanı için deprem

oluşturma potansiyeli olarak Düzce fayının deprem üretme potansiyelinin varlığı dikkate alınmaktadır. Düzce Fayı için 12 Kasım 1999 depreminde yaklaşık 45 km’lik fay segmenti kırılmış ve $M_w = 7,2$ büyüklüğünde bir deprem üretmiştir. 116 yıllık kayıtlara göre hesaplanan 100 yıllık olasılık değerleri, Çizelge 2 ve Çizelge 3’de verilmiştir. Deprem risk analizi program çıktıları ise Şekil 4’de sunulmuştur [7].

Çizelge 2. Probabilistik deprem tehlike analizi

PROBABİLİSTİK DEPREM TEHLİKE ANALİZİ					
YIL 116					
Poisson Olasılık Dağılımı ile Deprem Risk Analizi					
Regresyon için Veri Sayısı	5				
Magnitüd Aralıkları	4.5 £ M <5.0	5.0 £ M < 5.5	5.5 £ M <6.0	6.5 £ M <7.0	7.0£ M <7.5
Ni (Oluşum Sayıları)	28	13	3	0	2
Ortalama Magnitüd M yada (Xi)	4,7	5,2	5,7	6,7	7,2
SNi (Kümülatif Oluş Sayıları)	46	18	5	0	2
SNi/t	0,396551724	0,155172414	0,0431	0	0,017241
Log SNi/t yada (Yi)	-0,401700158	-0,809185484	-1,3655	0	-1,76343
SXi	29,5000000		a	0,464189379	
SYi	-4,3398016		b	-0,225788085	
SXi^2	178,3500000				
SXiYi	-26,5757183		Log (N) = a - b* M		
S(Xi)^2	870,2500000				



Şekil 4. poisson olasılık dağılımı ile hesaplanan farklı büyüklükteki depremlerin farklı zaman süreleri için oluşum olasılıkları ve aşılma oranları

Çizelge 3. Poisson olasılık modeli için magnitüd-oluşum sayısı ilişkisi

Poisson Olasılık Dağılımı						
				Rm = 1 - e-(N(M) *D)		Ortalama
N(M)	Magnitüd	D (Yıl) için Olasılık (%)	D (Yıl) için Olasılık (%)	D (Yıl) için Olasılık (%)	D (Yıl) için Olasılık (%)	Tekrarlama Periyodu (Yıl)
		10	50	75	100	
0,280636	4,5	94,0	100,0	100,0	100,0	4
0,216396	5	88,5	100,0	100,0	100,0	5
0,166861	5,5	81,1	100,0	100,0	100,0	6
0,128665	6	72,4	99,8	100,0	100,0	8
0,076502	7	53,5	97,8	99,7	100,0	13
0,068947	7,2	49,8	96,8	99,4	99,9	15

Çizelge 4. Poisson Olasılık Dağılımı ile Hesaplanan Farklı Büyüklükteki Depremlerin 50 Yıl İçin Aşılma Oranları

D (yıl)	% Aşılma Olasılığı	M (magnitüd)
50	96,8	7,2

Çalışma alanı için deterministik analiz başlığı altında belirlenmiş olan, tek kaynak modellemesinde Düzce Fayı için 7,2 büyüklüğündeki depremin 50 yıllık süreçte aşılma olasılığı %96,8 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4). Çalışma alanı tasarım depremi için, analiz programı, 2 km episentral uzaklık ve 10 km odak derinliği kabulü ile belirtilen aşılma oranında, beklenen

ivme değeri ve bu değer European Seismological Commission'a göre tehlike düzeyi yüksek tehlike düzeyindedir (Çizelge 5). Büyüklüğü 7,2 olan tasarım depreminin 50 yıl ve %96,8 aşılma oranı için 2 km episentral uzaklık ve 10 km odak derinliğinde beklenen ivme değerine karşılık tehlike düzeyi yüksek tehlikedir.

Çizelge 5. European Seismological Commission'a (ESC) Göre, ivme değeri – tehlike Düzeyleri ilişkisi

European Seismological Commission'a (ESC) Göre	
Tehlike Düzeyi	İvme Değerleri
Düşük Tehlike	<0,08g
Orta Tehlike	0,08g-0,24g
Yüksek Tehlike	>0,24g

2.2.Konuralp Yerleşim Yerini Etkileyecek Faylar ve Büyüklüklerinin Deterministik Yöntemle Hesaplanması

Düzce ve Çevresi KAFZ etkisi altındadır ve sismik olarak aktif bir kuşaktır. Hem tarihi kayıtlara hemde aletsel kayıtlara bakıldığında bu bölgenin aktif olduğu ve çok sayıda yıkıcı depremlerin oluştuğu görülmektedir. Bölgede bu bağlamda geçmiş döneme ait medeniyetlerin kalıntıları bulunmaktadır. Bu harabeler ve kalıntılar bu yörede dönemsel olarak ciddi yıkıcı depremlerin olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma alanında

etkinliği bilinen Düzce Fayı 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 yılında deprem büyüklüğü $M_w=7,6$ ve $M_w=7,2$ büyüklüğünde 2 adet deprem üretmiştir. Düzce ve çevresini etkileyecek olan fay yine aktifliği ve büyüklüğü ile bilinen Düzce fayı olacaktır. Tarihi ve arkeolojik kalıntılara bakıldığında muhtemelen bu fayın ürettiği depremin tarihi Prusias ad Hypium antik kentini yıktığı tahmin edilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Düzce ve Çevresini etkileyen faylar

Dünyada olmuş olan depremler ve faylar incelendiğinde genel olarak fay segmenti $\frac{1}{2}$ oranında fay uzunluğu olarak bakıldığında ise $\frac{1}{3}$ oranında kırıldığı kayıtlara ve raporlara geçmiştir [8]. Çalışma alanını etkilemesi düşünülen Düzce fayının üreteceği depremin moment büyüklüğü Wells and Coppersmith [9] eşitliği ile tahmin edilebilmektedir.

$$M_w=4,86+1,32 \log L \text{ Eş. (1)}$$

Burada M_w : Fayın ürettiği enerjiye bağlı deprem büyüklüğü, L ise fay uzunluğunu (km) göstermektedir. Çalışma alanında bu Düzce Fayı segmentinin kırılması halinde yaklaşık $M_w=7,2$ büyüklüğünde bir deprem üretme potansiyelinin olduğu görülmektedir. Depremlerde yapıya gelecek deprem yükünü gösteren esas büyüklük depremin oluşturacağı ivme ile ölçülür. Bu nedenle çalışma alanında etkin olan fayın üreteceği ivme büyüklüğü ise Ulusay vd. [10] eşitliği ile tahmin edilebilmektedir.

$$PGA=2,18e0,0218(33,3M_w - Re+7.8427 SA +18.9282SB) \quad (2)$$

Burada; yumuşak zeminler için $S_A=0$, $S_B=1$ alınır. Re : yerleşim yerine olan kuş uçuşu en yakın dikey mesafedir. M_w : Deprem büyüklüğüdür.

Bu durumda burada oluşacak deprem yatay ivmesinin büyüklüğü $a_{max}=0,51g$, hatta ilk depremin olduğu anda $0,81g$ olarak kayıtlara geçmiştir. Bu büyüklük ciddi bir deprem büyüklüğüdür. Yapı hasarlarına oluşması için yeterlidir. Bu bağlamda Prusias ad Hypium Antik Kentinde ciddi can ve mal

kayıplarına neden olduğu tarihi kayıtlardan anlaşılmaktadır. Düzce Meteoroloji Müdürlüğü istasyonunda bulunan ivme-ölçer, Doğu- Batı yönünde 513 cm/sn^2 'lik bir ivme değeri ölçmüştür. Depremin dış merkezine (episantr) uzaklığı yaklaşık 60 km olan Sakarya Bayındırlık ve İskân Müdürlüğü'ndeki istasyonda ise, maksimum yatay pik ivme 25 cm/sn^2 olarak gerçekleşmiştir. Alüvyon bir zemin üzerinde olan Düzce istasyonuna karşıt, Sakarya'da nispeten kayalık bir zeminde bu değerler alınmıştır. Düzce ve Sakarya da alınan ivme katsayılarının Fourier spektrumu deprem dalgasının frekansı olan 1-10 Hz. arasında Butterworth-Band Pass filtreden geçirip gerekli düzeltmeler yapılarak hesaplanmıştır. Sakarya kaydının frekansı 5,6 Hz. yani periyodu 0,18 sn'dir. Düzce kaydının frekansı 2,3 Hz ve hakim periyodu 0,4 sn. dir. Düzce kaydının maksimum ivme genliğinin Doğu- batı yönlü 513,7 gal, kuzey- güney yönlü 407,6gal ve düşey yönde ise 339,61 gal olduğu dikkate alınırsa Prusias ad Hypium Antik Kentinin yıkılmasının nedeni anlaşılabilir.

3.Depremlerde Hasar Görmüş Antik Yapıların İncelenmesi

3.1. Prusias Ad Hypium

Prusias ad Hypium Antik Kenti, Düzce il merkezi Konuralp kasabasında yer almaktadır. Tarihi M.Ö. 3. yüzyıla kadar uzanan kent antik Bithynia Bölgesi'nde Hypios (Melen Çayı) kenarında kurulmuş olduğu tarihi kalıntılardan anlaşılmaktadır [11]. Geçmişten günümüze bu bölge bir çok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Ancak bilinen Düzce antik tarihinin Romalılar hakimiyetinde yaşadığı tarihi kalıntılara

bakınca daha net anlaşılabilir. Bu bağlamda Düzce ilinin kuzeyinde yer alan ve yerel kültürde kasaba olarak tanımlanan bu günkü adı ile Konuralp olarak bilinen yerleşkede geçmiş depremlerden hasar görmüş tarihi yapılar ve harabeler mevcuttur. Bu harabeler bu bölgede geçmiş de yaşanmış aletsel ve tarihsel dönemde büyük depremlerin izlerini taşımaktadır. Bu bölgede meydana gelen depremler nedeniyle Prusias'a ait yapılar günümüzde Konuralp olarak bilinen kasabanın altında kaldığı kazılardan ve kalıntılardan ortaya çıkarılmıştır [12].

3.2. Prusias ad Hypium (Kieros, Üskübü, Kasaba, Konuralp) kenti kalıntıları

3.1.1.Surlar ve Sanatsal Yapılar

Kent ovadan gelebilecek saldırılara karşı arkasını dağa doğru yaslanmış olarak tepeye kurulmuştur. Çevresi surlarla kuşatılmıştır. Kentin savunma hattını oluşturan kuleler ve duvarlar, araziyle uyumlu bir biçimde inşa edilmiştir [14]. Kale duvarları, birbiri üzerine konan yazıtlı sunaklar, kaideler, tiyatroya ait oturma yerleri (40 basamak) büyük bloklarla yapılmıştır. Akçakoca yolunu kente bağlayan yol üzerinde bulunan üzerinde at resmi olan kapı "Atlı kapı" olarak

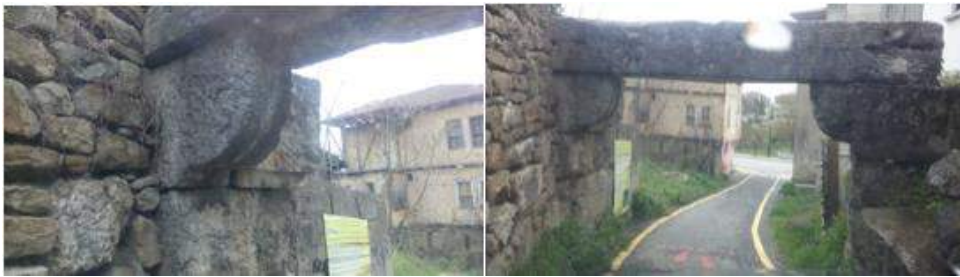
Düzce kent merkezinin yaklaşık 10 km kuzeyinde bu günkü adı ile anılan Konuralp Yerleşkesi sınırları içinde kurulduğu tarihi kalıntılardan anlaşılmaktadır. Antik kentin tarihi M.Ö.3. yüzyıla kadar dayanmakta; kurulmasında ve gelişmesinde tarıma elverişli Hypios Irmağı'nın etkili olduğu ve ismini buradan aldığı düşünülmektedir [13,14]. Bu bölgede tarihi dönemlerde meydana gelen depremler zarar görmüş harabeler ve kalıntılar bugünkü adı ile Konuralp yerleşkesi olarak adlandırılan ilçe merkezi altında Prusias'a ait olduğu bilinen tarihi kalıntılar ve harabeler bulunmaktadır. Prusias Anadolu'nun kuzeybatısında, doğu ile batıyı birbirine bağlayan yollar üzerinde kurulmuştur. bilinmekte ve kentin bir diğer savunma duvarıdır (Şekil 7-10). Kapının üzerinde at resmedilmiş, üzerinde Grekçe bir yazıt vardır ve üzerinde Prusiaslı'nın annesine yaptırdığı mezar steli olan büyük bir lento mevcuttur. Kapıdan itibaren güneydoğu yönünde uzanan sur duvarı kare planlı bir kuleye bağlanmaktadır [14]. Konuralp Beldesi'nde yer alan Genç Hellenistik-Erken Roma dönemlerine ait sur duvarları, köprü, su kemerleri, atlı kapı ve tiyatro Prusias ad Hypium antik kentinden günümüze kadar ulaşan başlıca mimari eserlerdir.



Şekil 7. Roma dönemlerine ait sur duvarları



Şekil 8. Roma dönemlerine ait sur duvarları



Şekil 9. Tarihi Atlı kapı şehir giriş kapısı



Şekil 10. Roma (Prusias ve Hypium) dönemine ait su kemerleri

Roma İmparatorluğu'nun doğuya yaptığı seferlerde Prusias'a uğradıkları bilinmektedir. Roma'nın doğusuna doğru buradan yol uzandığı ve uzanan anayollarından biri olan Kuzey yolunun Prusias'tan geçtiği Hypios Çayı üzerine inşa edilen 3 gözlü taş köprüye ait harabelerden anlaşılmaktadır (Şekil 11-12). Tarihi köprüden, surlardan, su kemerlerinden ve diğer tarihi kent

eserlerinden bugün sadece enkazı kalmıştır. Düzce Valiliği tarafından korunma altına alınarak Konuralp Müzesine kazandırılmıştır. Ayrıca kazılarda tarihi köprünün etrafında bir insan iskeletine de rastlanılmıştır. Bu olay tarihi kent eserlerinin bir depremde yıkıldığını ve enkaz altında can ve mal kayıplarının yaşanmış olduğunu göstermektedir.



Şekil 11. Tarihi Roma dönemine ait üç gözlü köprü



Şekil 12. Prusias ve Hypium Tarihi Konuralp Harabeleri

3.2.2. Tiyatro

Kentte bulunan Roma dönemi antik tiyatrosunun bir kısmı hala ayakta olmakla birlikte zamana yenik düşmüştür. Ancak hala kalıntıları mevcuttur. Bu bölgede günümüze kadar gelebilen tek tiyatro Prusias ad Hypium kent tiyatrosunun olduğu bilinmektedir. Antik Tiyatro (Prusias Tiyatrosu) M.Ö. 10-M.S. 20 yılları arasında inşa edilmiştir. Yapıldığı dönemin en

görkemli eserlerinden biri olarak bilinmektedir. 77x100 m ölçülerinde bir oturma alanına sahiptir. Doğu Bithynia bölgesinde ayakta kalmış tek antik tiyatrodur (Şekil 13-14). Günümüzde antik kent tiyatrosunun sadece kalıntıları mevcuttur. Antik dönemde olmuş olan depremlerin etkisinde yıkıldığı enkaz altında kaldığı düşünülmektedir [15].



Şekil 13. Antik Tiyatro giriş kapısı



Şekil 14. Prusias ve Hypium Antik tiyatro harabeleri

4.Sonuçlar

Düzce ilinin de yer aldığı Batı Kara Deniz ve Doğu Marmara Bölgesi hem aletsel hem de tarihsel dönemlerde yoğun zemin hareketliliğinin yaşandığı anlaşılmaktadır. Bu bölgede hasar yapıcı depremler olarak 6 ve üzerinde depremlerin meydana geldiği aletsel ve tarihsel kayırlardan ve günümüze kadar gelen tarihi eserlerden ve kalıntılarından anlaşılmaktadır. Günümüzde deprem etkisinin yoğun olarak görüldüğü Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde tarihsel dönemde oldukça fazla deprem yoğunluğu yaşandığı ve yıkıcı etkisinin olduğu çalışma alanındaki (Prusias ad Hypium) tarihi enkazlardan ve harabelerden anlaşılmaktadır. Zira bu bölge KAFZ zonu üzerinde yer aldığından Anadolu Plakasının batıya doğru hareketine bağlı olarak aktif bir bölgedir. Son 17 Ağustos 1999 Adapazarı ve 12 Kasım 1999 Düzce depreminde ciddi mal ve can kayıplarının meydana geldiğini ortaya koymuştur. Düzce ve civarında bu günkü adı ile Konuralp kasabası olarak bilinen (Prusias ad Hypium) tarihi kentinde ortaya çıkan Roma dönemi kalıntılarına bakıldığında bu bölgenin tektonik hareketliliği açısından ciddi risk taşıdığı ortaya konulmuştur. Tarihsel ve aletsel dönemlerde Konuralp (Prusias ad Hypium) kent merkezini etkileyen depremlerde depremin Roma dönemi sanatsal yapılarına etkisinin araştırıldığı bu araştırma makalesinde kent merkezinde M.Ö. 3. Yüzyılda inşa edilen antik yapılar araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda;

Roma dönemi antik yapılarının günümüze kadar ulaşamadıkları bu bölgede meydana gelen depremlerde yıkıldığı ancak kalıntılarının günümüze miras olarak kaldığı görülmüştür. Ayrıca yapısal inşa tarzlarının anlaşılabilirdiği kemer ve tonoz şeklinde olan yapıların tam olmasa da kısmi olarak ayakta kaldıkları, kesme taş veya moloz kagir taşlardan inşa edilmiş yapıların nerdeyse yıkıldığı veya yıkılma noktasına geldiği anlaşılmaktadır. Bu bilgiler ışığında tarihi kent yapılarının neredeyse bütünüünün yıkılmış olduğu tahmin edilmektedir. Bu

harabeler Düzce Valiliği Konuralp Müze Müdürlüğü tarafından koruma altına alınarak tarihe kazandırılmıştır. Yıkıcı etki yaratabilecek aktif fay hatları bulunan Düzce İli deprem tehlikesi açısından önemli bir konumdadır. Son olarak 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 depremleri bunu göstermiştir. Bu bölge göç alan bir bölge konumundadır, hızlı yapılaşma trendi içine girmiştir. Geçmişte meydana gelmiş tarihi ve aletsel depremlerden ders çıkararak yeni yapılacak yapıların doğru ve sağlam zeminler üzerine ve deprem yönetmeliğine uygun, inşa edilmesi ile olabilecek yıkıcı deprem hasarlarının cana ve mala zarar vermesi önlenebilecektir.

5.Teşekkür

Düzce Konuralp Müzesi Müdürlüğü'ne Konuralp Yerleşkesindeki Yaptığı Kazı Çalışmalardan Dolayı Teşekkür Ederim.

Kaynaklar

- [1]. MTA. Genel müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U).1999, 17 Ağustos 1999 Depremi sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim alanlarının Jeolojik İncelenmesi. TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu 59s.
- [2]. B. Özmen. (1912). Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, c. 55,s.1,ss.43-55, 2012.
- [3]. Şengör A.M.C. (1981). Yılmaz Y., "Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach", Tectonophysics, 75: 181-241, (1981).
- [4]. M.T.A, Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U). (1999). "17 ağustos 1999 depremi sonrası düzce (bolu) ilçesi alternatif yerleşim alanlarının jeolojik incelenmesi", TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu, Ankara.

- [5] B. Özmen, G. Bağcı. (2000)."12 kasım 1999 Düzce depremi raporu", T.C. Bayındırlık ve iskan bakanlığı afet işleri genel müdürlüğü deprem araştırma dairesi, Türkiye, 2000.
- [6].Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem –Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. 2016.
<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>,(2016).
- [7] Zemin Jeofizik Analiz, *Bilgisayar Programı*, Microsoft® Excel Programı: İ.Ü. Müh. Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 2005.
- [8]. Mark R. K. (1977).“Application of linear statistical model of earthquake magnitude versus fault length in estimating maximum expectable earthquakes”, *Geology*, 5: 464- 466, (1977).
- [9]. Wells, D.L. and K.J. (1984). “Coppersmith, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement”, *Bull, Seismol. Soc*, 84: 974-1002, (1984).
- [10].Ulusay R., Tuncay E., Sonmez H. and Gokceoglu C. (2004). “An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey”, *Engineering Geology*, 74: 265–291, (2004).
- [11].Dikmen, B., Ç. ve Toruk, F. (2017). Prusias ad Hypium Antik Kenti Üzerinde Bir Yerleşim: Konuralp, *Researcher Social Science Studies*, 5(4), 176-210.
- [12]. Akıncı Kesim, G., Köylü, P. ve Girti, P. (2009). Roma Dönemi Kent Yerleşimleri ve Prusias ad Hypium (Kieros, Üskübü, Konuralp), *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 1: 5-24.
- [13].Kurt, M. (1979). Prusias ad Hypium’un (Konuralp) Arkeolojik Yapısı. Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü Basılmamı Bitirme Tezi. Erzurum.
- [14]. Zeyrek, T., Çelik, G.B. (2005). Prusias ad Hypium (Kieros) Anadolu’nun Kuzeybatısında Antik Bir Kent (Konuralp/Üskübü). Ege Yayınları. İstanbul.
- [15].Akkoyunlu, M.F. (2021). Tarihsel Depremler ve Kullanılan Yöntemler, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 21, S. 587-590, Ocak 2021*.



Adıyaman İli'nde Farklı Arazi Kullanımlarının Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri

Ali Rıza Öztürkmen^{1*}, Emrah Ramazanoğlu^{1a}, Ahmet Çelik², Mehmet Arslan^{1b}

^{1*} Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5575-3278), arozturkmen@harran.edu.tr

^{1a} Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7921-5703), ramazanoglu@harran.edu.tr

^{1b} Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5312-9989), ziraat02@hotmail.com

² Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ziraat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-00018958-4978), ahmetcelik@adiyaman.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 4 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.941180)

ATIF/REFERENCE: Öztürkmen, A. R., Ramazanoğlu, E., Çelik, A. & Arslan, M. (2021). Adıyaman İli'nde Farklı Arazi Kullanımlarının Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri. *European Journal of Science and Technology*, (25), 594-600.

Öz

Bu çalışma, Adıyaman İli'nde, Merkeze bağlı Kömür, Kuyucak ve Ormaniçi köylerinde farklı arazi kullanımının bazı toprak özellikleri (agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, organik madde ve infiltrasyon hızı) üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmaya konu olan araziler Adıyaman ilinin genelini temsil edecek şekilde sırasıyla yoğun hayvan gübresi kullanılan ve tütün yetiştiriciliği yapılan sulanan tarım arazileri, meyve bahçeleri ve sadece yağmur suyundan faydalanılan kuru tarım yapılan tarım arazileri olmak üzere 3 farklı arazi kullanımı tercih edilmiştir. Toprak özellikleri incelendiğinde, infiltrasyon hızı tüm grupların önem düzeyine göre ($P < 0,05$) anlamlı olarak farklılık göstermiş ve en yüksek infiltrasyon hızı sulanan tarım arazisinde ($134,00 \text{ cm saat}^{-1}$) ölçülmüştür. Toprakların infiltrasyon hızı sırasıyla sulu tarım arazisi > kuru tarım arazisi > meyve bahçesi olarak belirlenmiştir. Hacim ağırlığı arazi kullanım durumuna göre anlamlı farklılıklar göstermiş ($P < 0,05$) ve en yüksek hacim ağırlığı meyve bahçelerinde ($1,52 \text{ g cm}^{-3}$), en düşük ise ($1,01 \text{ g cm}^{-3}$) sulanan tarım arazilerinde belirlenmiştir. Toprakların hacim ağırlıkları sırasıyla meyve bahçesi > kuru tarım arazisi > sulu tarım arazisi olarak belirlenmiştir. Agregat stabilitesi tüm grupların önem düzeyine göre ($P < 0,05$) anlamlı olarak farklılıklar göstermiş ve en yüksek (%67.33) sulanan tarım arazilerinde ölçülmüştür. Toprakların organik madde seviyeleri tüm grupların önem düzeyine göre ($P < 0,05$) anlamlı farklılık göstermiş ve en yüksek (%2,72) sulanan tarım arazilerinde ölçülmüştür. Toprakların organik madde seviyeleri sırasıyla sulu tarım arazisi > kuru tarım arazisi > meyve bahçesi olarak belirlenmiştir. pH bakımından topraklar orta derecede alkaline reaksiyon göstermektedir. Elektrikli iletkenlik değerleri açısından topraklarda tuzluluk sorunu olmadığı ve kireç bakımından toprakların yüksek düzeylerde kireçli olduğu belirlenmiştir. Sulanan tarım arazilerinde fazla miktarlarda hayvan gübresi kullanımı toprakların agregat stabilitesi, infiltrasyon hızı ve organik madde seviyesini artırırken, toprakların hacim ağırlığını azaltmıştır. Sürdürülebilir toprak kalitesinin korunması için sürdürülebilir arazi kullanımı yönetiminin uygulanması ve arazi kullanımındaki iyileştirmeler zorunluluk haline gelmiştir. Böylece iyi bir planlamayla gelecekte sulamaya açılan tarım alanlarından elde edilecek verim düzeyinin artırabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arazi kullanımı, Adıyaman, İnfiltrasyon Hızı, Agregat, Toprak Kalitesi

Effects of Different Land Use on Some Soil Properties in Adıyaman Province

Abstract

This study was carried out to examine the effects of different land use on soil properties (aggregate stability, bulk density, organic matter and infiltration rates) in Kömür, Kuyucak and Ormaniçi villages in Adıyaman province. The lands subject to the study were selected in 3 different fields, respectively, irrigated agricultural lands with intensive animal manure and tobacco cultivation, orchards and dry agricultural lands that only use rain water. When the soil properties were examined, the infiltration rate differed significantly according to the importance level of all groups ($P < 0.05$) and the highest infiltration rate was measured in the irrigated agricultural land ($134.00 \text{ cm hour}^{-1}$). The infiltration rate of the soils were determined as irrigated agricultural land > non-irrigated agricultural land > orchard, respectively. Bulk density differed significantly according to the importance level of all groups ($P < 0.05$) and the highest bulk density was determined in orchards (1.52 g cm^{-3}) and the lowest (1.01 g cm^{-3}) in irrigated agricultural lands. Bulk density of the soils were determined as orchard > non-irrigated agricultural land > irrigated agricultural land, respectively. The aggregate stability was measured in the irrigated agricultural lands, where all groups differed significantly according to the importance level ($P < 0.05$) and the highest

* Sorumlu Yazar: arozturkmen@harran.edu.tr

(67.33%). Organic matter levels of the soils differed significantly according to the importance level of all groups ($P < 0.05$) and the highest (2.72%) was measured in irrigated agricultural lands. Organic matter levels of the soils are respectively determined as irrigated agricultural land > non-irrigated agricultural land > orchard, respectively. Soils showed that a moderately alkaline reaction (pH). In terms of electrical conductivity average values of soils, there is no salinity problem in the soils and the soils have high level of calcareous. While the use of high rate of animal manure in irrigated agricultural land increased the aggregate stability, infiltration rate and organic matter level of the soils, it decreased the bulk density of the soils. Implementation of sustainable land use management and improvements in land use have become a necessity for the preservation of sustainable soil quality. Thus, it is thought that, with a good planning, the yield level to be obtained from the agricultural lands that will be opened to irrigation in the future can be increased.

Keywords: Land use, Adıyaman, İnfiltration rate, Aggregate, Soil quality.

1. Giriş

Hızla artan nüfus ve tarım alanında teknolojik yenilikler ile birlikte arazi kullanımındaki değişiklik kaçınılmaz bir durum olarak karşımıza çıkmakta olup, bu durum profesyonelce planlama yapılmadığı takdirde çok büyük sosyo-ekonomik sorunları beraberinde getirmektedir (Nassar ve ark., 2017). Tarımın temel amacı, karmaşık bir sistem olan toprakta, yüksek verimli ve ekonomik bitkiler yetiştirmektir (Baran ve ark., 2016). Toprakların yeryüzünde yaşayan canlılar için çok büyük öneme sahip olması, tarım arazilerinin yönetimi ile birlikte mevcut toprakların kalitesinin iyileştirilmesi ve yönetilmesini zorunlu kılmaktadır (Kabir ve ark., 2020). Topraktaki besin maddelerinin bitkilere sağlanması toprak verimliliği ile ilişkili olup, toprak verimliliğini etkileyen faktörlerin başında toprak organik madde miktarı gelmektedir ve toprağın bütününde tamamlayıcı bir rolü bulunmaktadır (Bayram ve Seçkin, 2021). Bu bağlamda arazi kullanımındaki değişiklik ürün rotasyonu ile sağlanmakta olup, toprakların organik karbon stok düzeyini de korumaktadır (Guo ve ark., 2019). Tarım arazilerinin farklı kullanımları toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine önemli bir etkiye sahiptir (Nath ve Lal, 2017). Toprak işlenerek mekanik olarak toprağın üst bölümü karıştırılır. Bu karıştırma etkinliğinden dolayı toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri etkilenir. Böylece toprakta yaşayan tüm canlılar ve toprakta süregelen biyokimyasal döngüler de etkilenmektedir (Kayaşoğlu ve ark., 2007; Aydın ve ark., 2016).

Yapılan birçok çalışmada, farklı arazi kullanımlarından dolayı toprak fraksiyonları, agregat stabilitesi, pH, hacim ağırlığı, toprak sıcaklığı ve nemi ile toprakların karbon içeriğinin doğrudan etkilendiği belirtilmiştir (Zhao ve ark., 2017; Lia ve ark., 2020; Tomlinson ve ark., 2018). Arazi kullanımındaki farklılıkların özellikle toprakların fiziksel özellikleri üzerine çok belirgin etkileri yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Zaher ve ark., 2020). Kurak ve yarı kurak iklimin hakim olduğu genellikle yağmur suyundan faydalanılan bölgelerde toprak suyunun bitkilerce etkin kullanımının sağlanması ve bununla ilgili tedbirlerin alınması zorunluluk haline gelmiştir (Deng ve ark., 2016). Toprak-bitki-su matrisine göre arazilerin kullanımı ve verimlilik unsurları göz önünde bulundurularak planlanması sürdürülebilir arazi yönetiminin önemini ortaya koymaktadır. Arazi kullanım değişikliği politikası doğru planlandığında mevcut tarımsal arazilerin üretim potansiyelini arttırdığı ve daha geniş tarımsal ürün yelpazesine sahip üretimlerin sağlanmasının yanı sıra hayvanların otlatılması ve mera alanlarının yönetilmesi ile birlikte daha kârlı bir durum ortaya çıkmaktadır (Rodríguez ve ark., 2018). Arazi kullanımındaki farklılıkların toprak neminin korunması, bitkilerin etkin kök derinliği ile topraktan alınan su miktarı, bitkilerin karbonhidrat üretimi ve depolaması, toprakların mekanik direnç ve sıcaklığı, toprak havası gibi birçok özelliğe olumlu etkiler yapmaktadır (Deng ve ark., 2016; Hussain ve ark.,

2019; Asgarzadeh ve ark., 2010). Daha önce Şanlıurfa İli'nde 6 farklı arazi kullanımını üzerine yapılan çalışmada toprakların kimyasal özelliklerinden pH, EC, toplam kireç ve organik maddenin, toprakların fiziksel özelliklerinden ise toprak su içeriğinin önemli düzeyde farklılıklar gösterdiği saptanmıştır (Öztürkmen ve Ramazanoğlu, 2020b). Topraklara organik atıkların ilavesi, toprakların hidrolik iletkenlik, hacim ağırlığı, saturasyon düzeyi ve tarla kapasitesi üzerine çok olumlu etkisi görülmüştür (Yüksel, 2012).

Farklı kullanımlara sahip tarım arazilerinde erozyon, kirlilik, tuzlulaşma, monokültür gibi ortaya çıkan olumsuzlukların düzeyini saptayabilmek için ölçülebilir toprak kalite parametrelerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Azalan toprak kalite parametrelerinin iyileştirmesi ve aynı zamanda sürdürülebilir toprak kalite düzeyinin korunması elde edilecek verim düzeyini doğru orantılı olarak arttıracaktır (Adeyolu ve Ogunkunle, 2017; Çelik ve Akça, 2021). Kurak ve yarı kurak bölge topraklarında kuru tarımdan sulu tarıma geçişle birlikte arazilerin kullanım çeşitliliğinde artış beklenmekle beraber arazi kırılganlık düzeyinde bazı değişkenlikler beklenebilir (Çelik ve ark., 2017). Sürdürülebilir tarımsal üretim için farklı arazi kullanımlarının toprak varlıkları üzerindeki etkisini izlemek bilime ve araştırmaya dayalı yaklaşımları ortaya koymaktadır. Bu çalışmayla, bölgede yakın gelecekte yapılması planlanan sulu tarım faaliyetleri için gerekli tedbirlerin alınmasına alt bilgi sağlaması açısından farklı arazi kullanımlarının bazı toprak özellikleri üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışma 2019 yılında Adıyaman İli Merkez İlçesine bağlı Kömür Köyü (37° 52' 05" K, 38° 25' 47" D), Kuyucak Köyü (37° 40' 06" K, 38° 17' 14" D) ve Ormaniçi (37° 51' 21" K, 38° 18' 12" D) köylerinde yürütülmüştür. Çalışmanın yapıldığı her üç köyde meyve bahçesi, sulu tarım yapılan tütün ekili araziler ve kuru tarım yapılan (sulamasız, sadece yağmur suyundan faydalanılan) arazilerden toprak örnekleri alınmıştır. Adıyaman'ın iklimsel özellikleri yazları kurak ve sıcak, kışları yağışlı ve soğuktur. Yıllık sıcaklık ve yağış ortalamaları sırasıyla 17,3 °C ve 721,4 mm'dir (MGM, 2021). Adıyaman'da kuru tarım alanlarında ağırlıklı olarak buğday, arpa, nohut ve mercimek tarımı yapılmaktadır. Bazı sulamaya açılan alanlarda ise bu bitkilere ek olarak ağırlıklı olarak pamuk, mısır gibi tarla bitkileri yetiştiriciliğine başlanmıştır (Çelik ve ark., 2017). Adıyaman'da üretimi yapılan en önemli meyve türleri badem, antep fıstığı, Trabzon hurması, nar, üzüm ve zeytindir (Bayram ve Büyük, 2021). Bölgede yapılan araştırma sonuçlarına göre toprakların genel toprak yapısı %75 oranında killi-tınlıdır. Kil miktarı yüksek topraklar çoğunlukla karbonatlı kayaçların ayrışması ve içeriğindeki demir bileşiklerinin oksitlenmesi sonucu oluşan kırmızı renkli, smektit, illit ve kaolinit kil mineralleri içeriklidir.

Araştırmada, bölgede yaygın kil türünün smektit olduğu bunu sırasıyla illit, paligorskite ve kaolinitin izlediği saptanmıştır (Anonim, 1990; Çelik, 2012). Kuru tarım yapılan arazilerde azaltılmış toprak işleme ile topraklar işlenmektedir. Örnekleme yapılan köylerdeki meyve bahçeleri sırasıyla Kömür Köyü'nde nar bahçesi, Kuyucak Köyü'nde kiraz bahçesi ve Ormaniçi Köyü'nde bağcılık yapılan bahçelerde örnekleme yapılmıştır. Örneklemler sonucunda her bir meyve bahçesinde 5 adet toprak örneği olmak üzere toplamda 15 adet toprak örneği, sulu tarım yapılan arazilerden 15 adet ve kuru tarım yapılan arazilerden 15 adet olmak üzere toplam 45 örnek alınmıştır. Toprakların hacim ağırlıklarını belirlemek amacıyla 45 adet bozulmamış toprak örneği ile birlikte toplamda 90 toprak örneği alınmıştır.

2.2. Metod

Çalışma alanından alınan toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra analize hazır hale getirilmiştir. Çalışma alanına ait toprakların analizleri Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Tekstür analizi Bouyoucos Hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Demiralay, 1993). Toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) analizleri saturasyon çamurunda pH-metre ve EC-metre ile belirlenmiştir (Richards, 1954). Toplam CaCO₃ miktarı Schiebler kalsimetresi ile ölçülmüştür (Gülçur, 1974). Hacim ağırlığı araziden bozulmamış toprak örneği alma seti ile alınan bozulmamış toprak örnekleri 24 saat süre ile 105 °C etüvde kurularak belirlenmiştir (Demiralay, 1993). Agregat stabilitesi 4 g toprağın sodyum polifosfat (NaPO₃) ile 15 dakika süre ile tepkimeye girmesiyle elde edilmiştir (Black, 1965). Organik madde 0,5 mm (35 mesh)'lik elekten elenmiş 0,5 g toprak örneğinde yaş yakma metodu ile belirlenmiştir (Nelson ve Sommers, 1996). Toprak infiltrasyon hızı Demiralay, (1993)'ün bildirdiği prosedüre göre gerçekleştirilmiştir.

2.3. İstatistiksel Analiz

Arazi kullanımından kaynaklı farklılığın toprak özellikleri üzerine etkisini her köyün kendi içerisinde karşılaştırmak üzere SPSS 21 paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonucunda anlamlı (% 5 önem düzeyi) farklılık belirlendikten sonra ise Post-Hoc testlerinden Duncan testi uygulanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

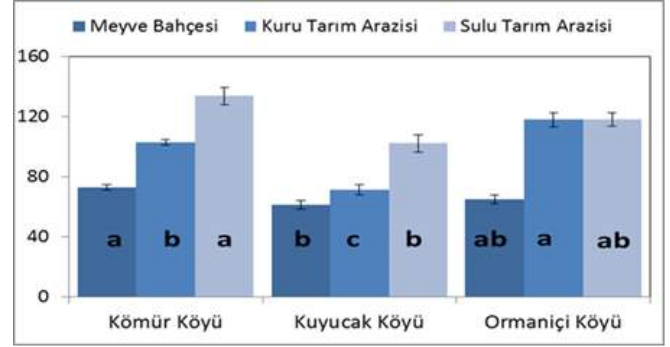
3.1. Toprak İnfiltrasyon Hızı

Farklı arazi kullanımına sahip toprakların infiltrasyon hızları, en düşük meyve bahçelerinde (73,00±1,73 cm saat⁻¹), en yüksek ise sulanan tarım arazilerinde (134,00±5,77 cm saat⁻¹) belirlenmiştir (Tablo 1). Toprak infiltrasyon hızı farklı arazi kullanımından önemli düzeyde (P<0,05) değerlendirilmiştir (Şekil 1).

Sulanan tarım arazilerinin yüksek oranda infiltrasyon hızına sahip olması, sulanan tarım arazilerinde yaygın olarak tütün bitkisinin yetiştirilmesi ve yüksek miktarlarda hayvan gübresinin kullanılmasından kaynaklanabilir. Hayvan gübresi kullanımı topraklardaki makro gözenekleri artırarak infiltrasyon hızını yükseltmektedir (Adeyemo ve ark., 2019). Killi bünyeye sahip topraklarda farklı dozlarda hayvan gübresi uygulaması ile toprakların infiltrasyon hızının arttığı bildirilmiştir (Mubarak ve ark., 2009). Bulgularımız başka araştırmacıların sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Öztürkmen ve ark., 2020a; Khalid ve ark., 2014).

Tablo 1. Toprakların infiltrasyon hızına (cm saat⁻¹) ait tanımlayıcı istatistik ve ANOVA testi

Toprak Parametresi	Arazi Kullanımı	N	Ortalama ± STD. Hata	F	P
İnfiltrasyon Hızı (cm saat ⁻¹)	Meyve Bahçeleri	15	73,00±1,73	5,50	0,04
	Kuru Tarım Arazisi	15	103,00±1,73	47,51	0,00
	Sulanan Tarım Arazisi	15	134,00±5,77	8,51	0,02



Şekil 1. Farklı arazi kullanımının toprakların infiltrasyon hızına etkileri. Farklı harfle gösterilen sütunlar çoklu karşılaştırma Duncan testine göre farklılıkları belirtmektedir P ≤ 0.05.

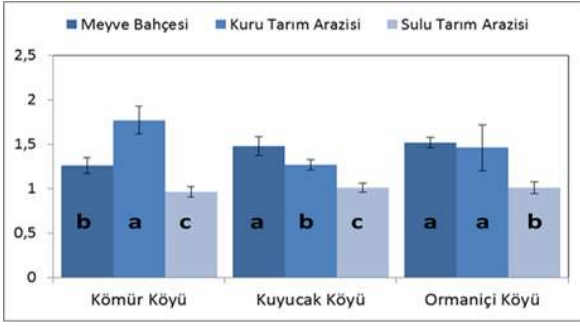
3.2. Toprak Hacim Ağırlığı

Farklı arazi kullanımına sahip toprakların hacim ağırlıkları değerlendirildiğinde, en düşük sulanan tarım arazisinde (1,01±0,07 g cm⁻³), en yüksek ise meyve bahçesinde (1,52±0,06 g cm⁻³) ölçülmüştür (Tablo 2). Toprak hacim ağırlıkları farklı arazi kullanımından önemli düzeyde (P<0,05) etkilenmiştir (Şekil 2).

Yoğun hayvan gübresi kullanımı toprakların hacim ağırlığını azaltmaktadır (Adeyemo ve ark. 2019). Brye ve ark. (2005) killi toprakta artan dozlarda çiftlik gübresi uygulamasının toprakların hacim ağırlığını kademeli olarak düşürdüğünü ve toprak sıkışmasını engellediğini bildirmiştir. Meyve bahçelerinde yapılan diğer çalışmalarda (Öztürkmen ve ark., 2020a; Öztürkmen ve Ramazanoğlu, 2020b) hacim ağırlığı ile ilgili olarak benzer sonuçlar saptanmıştır.

Tablo 2. Toprakların hacim ağırlıklarına (g cm⁻³) ait tanımlayıcı istatistik ve ANOVA testi

Toprak Parametresi	Arazi Kullanımı	n	Ortalama ± STD. Hata	F	P
Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	Meyve Bahçeleri	15	1,52±0,06	5,88	0,04
	Kuru Tarım Arazisi	15	1,46±0,26	19,11	0,00
	Sulanan Tarım Arazisi	15	1,01±0,07	0,25	0,78



Şekil 2. Farklı arazi kullanımının toprakların hacim ağırlığına etkileri. Farklı harflerle gösterilen sütunlar çoklu karşılaştırma Duncan testine göre farklılıkları belirtmektedir $P \leq 0,05$.

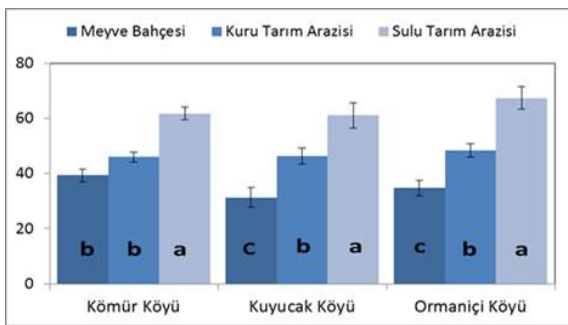
3.3. Toprak Agregat Stabilitesi

Farklı arazi kullanımına sahip toprakların agregat stabilitesi değerlendirildiğinde, en düşük meyve bahçesinde ($34,66 \pm 3,52$), en yüksek ise sulanan tarım arazisinde ($67,33 \pm 2,30$) ölçülmüştür (Tablo 3). Toprakların agregat stabilitesi farklı arazi kullanımından önemli düzeyde ($P < 0,05$) etkilenmektedir (Şekil 3).

Sulanan tarım arazisinin agregat stabilitesinin kuru tarım ve meyve bahçelerinden daha yüksek olmasının bir diğer nedeni sulanan tarım arazisinde çiftlik hayvan gübresi kullanımına karşın meyve bahçesi ve kuru tarım arazilerinde kimyasal gübre kullanımıdır. Topraklara uygulanan hayvan gübresi toprakların agregat stabilitesini önemli ölçüde arttırmaktadır (Ma ve ark., 2019; Yu ve ark., 2012). Organik gübre ile kimyasal gübre kullanımının kıyaslandığı bir çalışmada çiftlik gübresi kullanımının kimyasal gübre kullanımına göre agregat stabilitesini daha fazla arttırdığı belirlenmiştir (Guo ve ark., 2018). Meyve bahçelerinde ve kuru tarım yapılan alanlarda araştırmacılar benzer sonuçlar rapor etmişlerdir (Öztürkmen ve ark., 2020a; Öztürkmen ve Ramazanoğlu, 2020b).

Tablo 3. Toprakların agregat stabilitesine (%) ait tanımlayıcı istatistik ve ANOVA testi

Toprak Parametresi	Arazi Kullanımı	n	Ortalama \pm STD. Hata	F	P
Agregat Stabilitesi (%)	Meyve Bahçeleri	15	34,66 \pm 3,52	15,16	0,00
	Kuru Tarım Arazisi	15	46,33 \pm 2,88	39,62	0,00
	Sulanan Tarım Arazisi	15	67,33 \pm 2,30	18,78	0,00



Şekil 3. Farklı arazi kullanımının toprakların agregat stabilitesine etkileri. Farklı harfle gösterilen sütunlar çoklu karşılaştırma Duncan testine göre farklılıkları belirtmektedir $P \leq 0,05$.

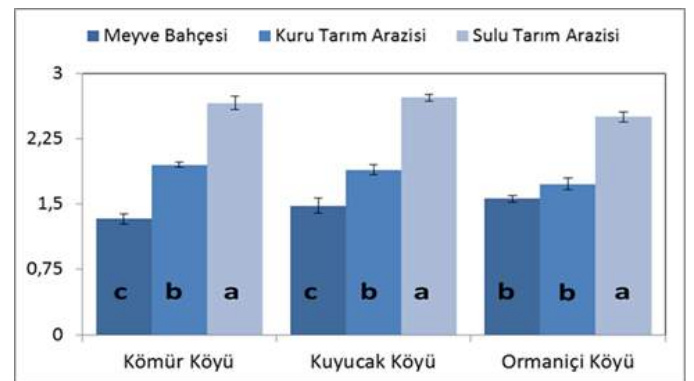
karşılaştırma Duncan testine göre farklılıkları belirtmektedir $P \leq 0,05$.

3.4. Toprak Organik Maddesi

Farklı arazi kullanımına sahip toprakların organik madde seviyeleri değerlendirildiğinde, en düşük meyve bahçesinde ($1,48 \pm 0,08$), en yüksek ise sulanan tarım arazisinde ($2,72 \pm 0,04$) ölçülmüştür (Tablo 4). Toprakların organik madde seviyeleri farklı arazi kullanımından önemli düzeyde ($P < 0,05$) etkilenmiştir (Şekil 4). Bayram ve Büyük (2021) yapmış oldukları çalışmada toprak işleme ya da gübreleme programı uygulanmayan meyve alanlarında da üst toprakta organik madde düzeyini %2.87 olarak belirlenmiştir. Adıyaman ilinde sulanan ve tütün tarımı yapılan tarım arazilerinde yaygın şekilde hayvan gübresi kullanılmaktadır (Çelik, 2019). Bu nedenle sulanan ve tütün tarımı yapılan topraklarda organik madde seviyesi, kuru tarım arazisi ve meyve bahçesi topraklarından daha yüksek düzeyde saptanmıştır. Ayrıca toprakların aşırı işlenmesi de toprak organik madde düzeyinde azalmaya neden olmaktadır (Stockmann ve ark., 2013). Çevre ve tarım dostu organik ve hayvansal gübrelerin kullanımının toprak organik madde seviyesini artırdığı ve aynı zamanda toprağın fiziksel koşullarını iyileştirdiği birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Adeyemo ve ark. 2019; Brye ve ark., 2005; Bellitürk ve ark., 2019; Öztürkmen ve ark., 2020a; Kılıbacak ve ark., 2021).

Tablo 4. Toprakların organik madde (%) içeriklerine ilişkin tanımlayıcı istatistik ve ANOVA testi

Toprak Parametresi	Arazi Kullanımı	n	Ortalama \pm STD. Hata	F	P
Organik Madde (%)	Meyve Bahçeleri	15	1,48 \pm 0,08	132,87	0,00
	Kuru Tarım Arazisi	15	1,89 \pm 0,05	119,73	0,00
	Sulanan Tarım Arazisi	15	2,72 \pm 0,04	75,27	0,00



Şekil 4. Farklı arazi kullanımının toprakların organik madde kapsamına etkileri. Farklı harflerle gösterilen sütunlar çoklu karşılaştırma Duncan testine göre farklılıkları belirtmektedir $P \leq 0,05$.

3.5. Toprakların pH, EC, Tekstür ve Kireç Düzeyleri

Araştırma alanına ait toprakların kireç içeriği ortalama %23,81 (fazla kireçli), toprak reaksiyonu 7,86 (hafif alkalın) ve

elektriki iletkenlik değeri ise 0,62 dS m⁻¹ (tuzsuz) olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Bünye analizi sonucunda, toprakların tamamının killi bünyeye sahip topraklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 6). Yaygın olarak tütün yetiştiriciliği yapılan alanlarda kuru tarım ve meyve bahçeleri ile kıyaslandığında, yoğun hayvan gübresi kullanımından kaynaklı çok az bir artış olduğu görülmektedir. Çalışma alanı toprakları EC yönünden

incelendiğinde Maas (1986) tuzsuz olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlar Ramazanoğlu (2019) ve Öztürkmen ve ark. (2020c) ile uyum göstermektedir. Adıyaman ili topraklarında Çelik ve ark. (2017)'nin yapmış oldukları bir çalışmada, toprakların kireç içerikleri sulanan tarım arazilerinde, kuru tarım arazilerine göre daha düşük düzeyde saptanmıştır. Adıyaman İli toprakları hafif alkalin pH sınıfında değerlendirilmiştir (Anonim, 1990; 1997).

Tablo 5. Çalışma topraklarının pH, EC ve kireç analiz sonuçları

Arazi Kullanımı	Kömür köyü			Kuyucak Köyü			Ormaniçi köyü		
	pH	EC (dS m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)
Meyve Bahçeleri	8,06	0,50	28,66	7,96	0,50	27,33	8,13	0,56	29,00
Kuru Tarım Arazisi	7,97	0,60	27,33	8,13	0,69	26,00	8,03	0,69	24,67
Sulanan Tarım Arazisi	7,20	0,67	15,33	7,63	0,70	17,33	7,63	0,70	18,66

Tablo 6. Çalışma topraklarının tekstür analizi

Arazi Kullanımı	Kömür köyü			Kuyucak Köyü			Ormaniçi köyü		
	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
Meyve Bahçeleri	31	20	49	34	29	37	35	20	45
Kuru Tarım Arazisi	31	29	40	30	28	42	31	21	48
Sulanan Tarım Arazisi	30	27	43	30	29	41	33	22	45

4. Sonuç

Bu çalışmayla, farklı arazi kullanımına sahip toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Adıyaman İli'ne bağlı Kömür, Kuyucak ve Ormaniçi köylerinde yapılan çalışma sonucunda, toprakların tuzluluk yönünden herhangi bir probleminin olmadığı, yüksek düzeyde kireçli olduğu ve toprak reaksiyonu düzeyinin ise hafif alkalin reaksiyon gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmaya konu olan ve sulanan tarım topraklarında yoğun olarak tütün bitkisi yetiştirildiği ve uzun yıllardır hayvan gübresi kullanıldığı saptanmıştır. Hayvan gübresinin yüksek miktarlarda kullanılmasının toprakların fiziksel özelliklerine (agregat stabilitesi, hacim ağırlığı ve infiltrasyon hızı) çok olumlu katkılar sağladığı belirlenmiştir. Meyve bahçeleri ve sadece yağmur

suyundan faydalanılan tarım arazilerinin bazı toprak kalite parametreleri açısından sulanan tarım arazilerine oranla daha düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Bölgede hayvancılığın desteklenmesi ve hayvan gübresi kullanımının yaygınlaştırılması, organik madde düzeyi düşük farklı amaçlarla kullanılan arazilerin bozunumunu engellemek ve korumak için bitkisel atıkların topraklara geri dönüşümünün sağlanması toprakların kalite düzeylerinin yükseltilmesinde büyük katkılar sağlayacaktır. Bölgede yeni yapılacak araştırmalarla sürdürülebilir arazi kullanımı yönetiminin temelini oluşturacak uygun toprak koruma, gübreleme ve toprak yönetim uygulamalarının tavsiye edilmesi toprak kalite parametrelerinin ölçütlerini artıracaktır. Sonuç olarak, bu çalışmada elde ettiğimiz bulgular arazi kullanımı ile toprak özelliklerinin de değiştiğini ortaya koymaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Harran Üniversitesi HÜBAK tarafından 17081 No'lu Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Kaynakça

- Adeyemo, A. J., Akingbola, O. O., Ojeniyi, S. O. (2019). Effects of poultry manure on soil infiltration, organic matter contents and maize performance on two contrasting degraded alfisols in southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. doi:10.1007/s40093-019-0273-7
- Adeyolu, O. D., Ogunkunle, A. O. (2017). Soil quality assessment for sustainable land use and management. *International Journal of Plant & Soil Science*, 1-11.
- Anonim, (1990). Adıyaman Çamgazi Ovası Sulama Projesi Sahası Detaylı Temel Toprak Etütleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak Etüd Şubesi Ankara, 212s.
- Anonim, (1997). Adıyaman Kâhta Ovası Sulama Proje Sahası Detaylı Toprak Etütleri, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Etüd ve Proje Dairesi Başkanlığı, Ankara, s. 250.
- Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M. R., Mahboubi, A. A., Nosrati, A., Dexter, A. R. (2010). Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. *Plant and Soil*, 335(1-2), 229–244. Doi:10.1007/s11104-010-0410-6
- Aydın, B., Baran, M.F., Kurşun, İ., Kayhan, İ.E., Bayhan, Y., Durgut, R., 2016. İkinci Ürün Ayçiçeği ve İkinci Ürün Silajlık Mısır Üretiminde Uygulanabilecek Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Brüt Kar Analizi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, ISSN:2148-3647, Cilt:3 (4), Sayfa: 296-304, 2016
- Baran, M.F., Polat, R., Gökdoğan, O., 2016. Comparison of Energy Use Efficiency of Different Tillage Methods on The Secondary Crop Sunflower Production, Feb - Fresenius Environmental Bulletin, ISSN 1018-4619, Volume 25, No:11 /2016, pages 4937-4943
- Bayram, C.A., Büyük, G. (2021). Toprak İşleme ve Gübreleme Yapılmayan Meyve Ağaçlarında Bitki Besin Elementi Düzeylerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 1-8.
- Bayram, C.A., Kaya, S. (2021). Kompost ve Kompost Çayının Bitkisel Üretimde Kullanımı ve Bitki Gelişimine Etkileri. (Editör: Mehmet Fırat Baran, Ahmet Çelik, Korkmaz Bellitürk). IKSAD Publishing House. ISBN978-625-7636-45-2. Bölüm 16, s: 397-428, Ankara.
- Bellitürk, K., Kuzucu, M., Baran, M. F., Çelik, A. (2019). Antep Fıstığında (*Pistacia Vera L.*) Kuru Koşullarda Gübrelemenin Verim ve Kaliteye Etkileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (2), 251-259.
- Black, C. A., (1965). *Methods of Analysis Agron. Ame. Soc. Agr., Madison Wisconsin. USA., No: 9.*
- Brye, K. R., Slaton, N. A., Norman, R. J., & Savin, M. C. (2005). Short-term Effects of Poultry Litter Form and Rate on Soil Bulk Density and Water Content. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35(15-16), 2311–2325. doi:10.1081/lcss-200030655
- Çelik, A. (2012). Adıyaman ilinin tarım dışı alanlarındaki tuğla-seramik hammadde kaynaklarının kullanım potansiyellerinin belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı (Doktora Tezi), Adana.
- Çelik, A., İnan, M., Sakin, E., Büyük, G., Kırpık, M., Erhan, A. (2017). Kuru tarımdan sulu tarıma geçiş sonrası toprak özelliklerindeki değişimler: Adıyaman örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(2), 80-86.
- Celik, A. (2019). Comparing the microbial biomass carbon and nitrogen contents of tobacco growing soils with scanning electron microscopy and some soil parameters. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(2), 589-598.
- Çelik, A., Akça, E., (2021). Kuru tarımdan Sulu Tarıma Dönüşümün Toprakta Çeyrek Asırlık Etkisinin Mikromorfolojik Ölçekte Tanımlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 207-215.
- Demiralay, İ. (1993). Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 143, 13-19.
- Deng, L., Yan, W., Zhang, Y., Shangguan, Z. (2016). Severe depletion of soil moisture following land-use changes for ecological restoration: Evidence from northern China. *Forest Ecology and Management*. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.026>
- Guo, Z. C., Zhang, Z. B., Zhou, H., Rahman, M. T., Wang, D. Z., Guo, X. S., Peng, X. H. (2018). Long-term animal manure application promoted biological binding agents but not soil aggregation in a Vertisol. *Soil and Tillage Research*, 180, 232-237. doi:10.1016/j.still.2018.03.007
- Guo, L., Shen, J., Li, B., Li, Q., Wang, C., Guan, Y., D'Acqui, P.L., Luo, Y., Tao, Q., Xu, Q., Li, H., Yang, J., Tang, X. (2019). Impacts of agricultural land use change on soil aggregate stability and physical protection of organic C. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136049>
- Gülçur, F., (1974). Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 1970, Yayın No: 201, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Hussain, A., Classens, G., Guevara-Rozo, S., Cale, J. A., Rajabzadeh, R., Peters, B. R., Erbilgin, N. (2019). Spatial variation in soil available water holding capacity alters carbon mobilization and allocation to chemical defenses along jack pine stems. *Environmental and Experimental Botany*,
- Kabir, B.E., Bashari, H., Bassiri, M., Mosaddeghi, R., M. (2020). Effects of land-use/cover change on soil hydraulic properties and pore characteristics in a semi-arid region of central Iran. *Soil & Tillage Research*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104478>
- Kayisoglu, B., & Esen, M. (2007). A research on determination of moisture absorption properties of sunflower seed. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty (TURKEY)*.
- Khalid AA, Tufour HO, Bonsu M, Parker B.Q. (2014). The effects of poultry manure and NPK fertilizer on physical properties of a sandy soil in Ghana. *Int J Sci Res Agric Sci* 1(1):1–5. <https://doi.org/10.12983/ijrsas-2014-p0001-0005>
- Kılback, H., Bellitürk, K., Çelik, A. (2021). Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Vermikompost Üretimi: Yeşil Badem Kabuğu ve Koyun Gübresi Karışımı Örneği. Akademik Perspektiften Tarıma Bakış (Editör: Gülşah Bengisu). IKSAD Publishing House. ISBN: 978-605-70345-3-3. Bölüm 2, s: 19-44, Ankara.
- Lia, Y., Lid, Z., Cuie, S., Zhanga, Q. (2020). Trade-off between soil pH, bulk density another soil physical properties under global no-tillage agriculture. *Geoderma*. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114099>.
- Ma, J., Chen, Y., Wang, H., & Wu, J. (2019). Traditional Chinese medicine residue act as a better fertilizer for improving soil

- aggregation and crop yields than manure. *Soil and Tillage Research*, 195, 104386. doi:10.1016/j.still.2019.104386
- Maas, E.V. (1986). *Salt Tolerance of Plants*, Applied Agricultural Research, 1: 12-26.
- MGM, 2021. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ADIYAMAN> (Erişim Tarihi: 31.03.2121)
- Mubarak, A.R., Omaima, E.R., Amal, A.A., Nemat, E.H. (2009). Short-term studies on use of organic amendments for amelioration of a sandy soil. *AJAR* 4(7):621–627
- Nassar, M., Levy, R., Noel Keough, N., Nassar N. N. (2017). Agricultural Land Use Change and its Drivers in the Palestinian Landscape Under Political Instability, the Case of Tulkarm City. *Journal of Borderlands Studies* Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/08865655.2017.1344561>
- Nath, J.A., Lal, R. (2017). Effects of Tillage Practices and Land Use Management on Soil Aggregates and Soil Organic Carbon in the North Appalachian Region, USA. *Pedosphere*, 27 (1): 172–176. Doi:10.1016/S1002-0160(17)60301-1
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter.in D.L.Sparks (Ed) *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*, SSSA Book Series Number 5, SSSA., Madison,WI, s. 961 1011.
- Ozturkmen, A.R., Ramazanoglu, E., Almaca, A., Cakmalı, M. (2020a). Effect of intercropping on soil physical and chemical properties in an olive orchard. *Applied Ecology and Environmental Research* 18 (6): 7783-7793.
- Ozturkmen, A.R., Ramazanoglu, E. (2020b). Effects of Different Land Uses on Some Physical and Chemical Properties of Soils Originated from The Volcanic Parent Materials. *Fresenius Environmental Bulletin* 29 (12A): 11450-11460
- Öztürkmen, A.R., Ramazanoğlu, E., Çiçek, İ. C. (2020c). Şanlıurfa İli Suruç İlçesi Topraklarının Bazı Özellikleri ve Bitki Besin Elementi Kapsamlarının Belirlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 9 (4): 1807-1815
- Ramazanoglu, E. (2019). Determination and mapping of the relationship between potassium and Ammonium of Calcareous Soils with Different Moisture Content. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (7): 17-26
- Richards, L.A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA. Agriculture. Handbook, 573.
- Rodrígueza, P.M., Butsicb, V., Gärtnerc, P., Macchia, L., Baumanna, M., Gavier Pizarrod, G., Volantee, N.J., Gasparrif, N.I., Kuemmerlea, T. (2018). Drivers of agriculturalland-use change in the Argentine Pampas and Chaco regions. *Applied Geography*,111–122. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.004>.
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., & Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80-99.
- Tomlinson, J.S., Dragosits, U., Levy, E.R., Thomson, M.A., Moxley, J. (2018). Quantifying gross vs. net agricultural land use change in Great Britain using the Integrated Administration and Control System. *Science of the Total Environment*, 628–629. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.067>
- Yüksel, O. (2012). Çöp kompostunun xerofluvent topraklarda fiziksel özelliklere etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2), 92-97
- Yu, H., Ding, W., Luo, J., Geng, R., & Cai, Z. (2012). Long-term application of organic manure and mineral fertilizers on aggregation and aggregate-associated carbon in a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, 124, 170–177. doi:10.1016/j.still.2012.06.011
- Zaher, H., Sabir, M., Benjelloun, H., Igor, P.H. (2020): Effect of forest land use change on carbohydrates, physical soil quality and carbon stocks in Moroccan cedar area. *Journal of Environmental Management*. Doi :<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109544>.
- Zhao, C., Jia, X., Zhu, Y., Shao, M. (2017). Long-term temporal variations of soil water content under different vegetation types in the Loess Plateau, China. *CATENA*, 158, 55–62. Doi:10.1016/j.catena.2017.06.006



Mn Katkılı Grafen Yüzey Üzerinde NH₃ Olmadan NO'nun Katalitik İndirgenmesi: Bir Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi Çalışması

Aykan Akça^{1*}

^{1*} Aksaray Üniversitesi, Sabire Yazıcı Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2517-765X)
aykanakca@aksaray.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 4 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.933246)

ATIF/REFERENCE: Akça, A., (2021). Mn katkılı grafen yüzey üzerinde NH₃ olmadan NO'nun katalitik indirgenmesi: Bir yoğunluk fonksiyonel teorisi çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 601-606.

Öz

Nitrojen oksit (NO) fosil yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkan önemli bir hava kirleticisidir. Katalitik olarak seçici katalizörler üzerinde NO indirgenme reaksiyonları yoluyla onun zararlı etkileri önemli ölçütlerde azaltılabilir. Mn katkılı grafen sistemler deneysel olarak sentezlenebilir ve nispeten az sayıda Mn (manganez) atomu kullanımı nedeniyle ilerleyen zaman içerisinde tek atom kristal yüzeylerine göre çok daha düşük maliyetli olması ön görülmektedir. Bu çalışmada Mn katkılı grafen yüzey üzerinde NO indirgenme reaksiyonu yoğunluk fonksiyonel teorisi yoluyla incelenmiştir. Mn katkılı grafen yüzeyin yapısal özellikleri bader yük analizi ve elektron yoğunluğu farkı haritası ile analiz edildi. NO indirgenmesi için, NO moleküllerinin farklı adsorpsiyon durumlarına göre iki farklı reaksiyon yolu düşünüldü. Bizim hesaplamamız göstermiştir ki, birinci reaksiyon yolu üzerinde reaksiyon 0.27 eV ve 0.59 eV enerji bariyerleri ile iki geçiş durumu sonunda gerçekleşirken, diğer reaksiyon yolu 0.42 eV enerji bariyeri ile direkt olarak gerçekleşmektedir. Bu sonuçlar, her iki reaksiyon yolu üzerinde Mn katkılı grafen katalizörün yüksek katalitik aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Bu bilgiler, NO'nun uzaklaştırılması için grafen tabanlı malzemeler üzerinde farklı stratejiler geliştirmek için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: NO indirgenme reaksiyonu, Mn katkılı grafen, Adsorpsiyon, Yoğunluk fonksiyonel teorisi.

Catalytic Reduction Of NO Without NH₃ On Mn Embedded Graphene: A Density Of Functional Theory Study

Abstract

Nitrogen oxide (NO) is an important air pollutant that occurs as a result of burning fossil fuels. Through NO reduction reactions on catalytically selective catalysts, its detrimental effects can be significantly reduced. Mn-doped graphene systems can be synthesized experimentally, and due to the use of relatively few Mn (manganese) atoms, it is anticipated that they will cost much less than single-atom crystal surfaces over time. In this study, NO reduction reaction on Mn doped graphene surface was investigated by density functional theory. The structural properties of the Mn-doped graphene surface were analyzed by bader charge analysis and electron density difference map. For the reduction of NO, two different reaction paths were considered according to the different adsorption conditions of NO molecules. Our calculation results showed that, on the first reaction path, the reaction takes place at the end of two transition states with energy barriers of 0.27 eV and 0.59 eV, while the other reaction path takes place directly with an energy barrier of 0.42 eV. These results showed that the Mn doped graphene catalyst has high catalytic activity on both reaction paths. This information can be used to develop different strategies on graphene-based materials for NO removal.

Keywords: NO reduction reaction, Mn embedded grafen, Adsorption, Density functional theory.

* Sorumlu Yazar: aykanakca@aksaray.edu.tr

1. Giriş

Endüstri ve sanayi alanlarında ihtiyaç duyulan enerjinin önemli bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların yanma reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan zehirli gazlar azot oksit (NO_x), asit yağmuru ve ozon tabakasının delinmesi gibi önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Özellikle kömürlü çalışan güç santrallerinden çevreye salınan NO_x türü gazlar çevresel kirliliklerin ana kaynağı olarak gösterilmektedir (Yang ve ark., 2019). NO bilinen adıyla nitrojen oksit, NO_x türlerinin ana bileşimidir. Fosil yakıtların oldukça sık kullanıldığı endüstriyel süreçler ve taşıtlar yoluyla doğaya salınan NO_x miktarı düşünüldüğünde, NO bileşiğinin doğadan uzaklaştırılması son derece önemlidir.

Elektrokimyasal indirgeme ve amonyak (NH_3) ve N_2O 'ya dönüşüm yoluyla, nitrojen oksit emisyonunun azaltılması en umut vaat edici çözümler olarak görünmektedir (Gao ve ark., 2017). NO'nun elektrokimyasal indirgenme reaksiyonu farklı metal elektrotlar üzerinde araştırılmıştır. Greeley ve ark. Pt(100) ve Pt(111) yüzeyleri üzerinde NO elektrokimyasal indirgenme reaksiyonunu detaylı bir şekilde incelenmişlerdir. Onların elde ettikleri sonuçlar göstermiştir ki, Pt (Platin) tabanlı katalizörler NO elektrokimyasal reaksiyonu üzerinde yüksek performans sergileseler de, yüksek reaksiyon sıcaklığı Pt bazlı katalizörlerin kullanılabilirliğini engellemektedir (Chun ve ark., 2017). Bu nedenle son zamanlarda bilimsel çalışmaların önemli bir kısmı NO'nun NH_3 ve N_2O 'a dönüştürülmesi üzerine odaklanmıştır. (Saeidi ve ark., 2021). NO indirgenme reaksiyonu Pd(111) (Huai ve ark., 2015), nobel metals (Taylor ve ark., 1980), gümüş/alüminyum ve gümüş-altın/alüminyum (Seker ve ark., 1999) gibi çeşitli katalizör yoluyla incelenmiştir. Ancak bu malzemeler yüksek maliyetli katalizör veya katalizör gruplarıdır.

Son yıllarda grafen tabanlı malzemeler fiziksel, kimyasal ve yüksek katalitik aktivelerinden dolayı eşsiz özelliklere sahiptir. Ayrıca bu malzemeler deneysel olarak sentezlenebilmektedir ve grafen tabaka üzerinde oluşturulan kusurlu bölgelere sadece birkaç geçiş metal atomunun katkılanması katalizör maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir (Lu ve ark., 2009; Zhou ve ark., 2011). Buna ilaveten metal katkılanması yüzey merkezinde kısmi bir yük bölgesinin oluşmasına neden olur ve bu bölge kimyasal reaksiyonlarda kilit rol üstlenmektedir. Bu nedenle birçok kimyasal reaksiyon çalışmasında grafen yüzeyler kullanılmıştır (Karaman ve ark., 2020; Özcan ve ark., 2020; Karaman ve ark., 2020; Akça ve ark., 2021; Karaman ve ark., 2021). Saeidi ve ark. Si-N4 gömülü grafen üzerinde NO elektrokimyasal reaksiyonu araştırmışlardır. Onların sonuçları göstermiştir ki, NO elektrokimyasal reaksiyonu üzerinde Si-N4 yüzeyi yüksek katalitik performans sergilemektedir. Sadece HNO molekülü 0.56 eV ile küçük bir sınırlayıcı potansiyele sahiptir. Buna rağmen Si-N4 yüzeyi NH_3 üretimi için önemli bir katalizör adaydır (Saeidi ve ark., 2021). Zhang ve ark. kusursuz grafen'den elde ettikleri char model yüzeye Ca (kalsiyum) atom katkılanması yoluyla NO indirgenme reaksiyonu incelemişlerdir. Onlar NO indirgenme reaksiyonu boyunca Ca atomunun N_2 molekülünün yüzeyden uzaklaştırılması ve N-N bağlarının oluşumunda katalitik aktivite sergilediğini bildirmişlerdir (Zhang ve ark., 2020). Maitarad ve ark. silikon-katkılı-nitrojen koordinasyonlu grafen üzerinde NO indirgenme reaksiyonu yoğunluk fonksiyonel teorisi yoluyla araştırmışlardır. Sadece Si (silikon) veya N (nitrojen) ile koordine edilmiş yüzeylere göre, silikon ve nitrojen koordinasyonlu grafenin NO indirgenme reaksiyonu üzerinde daha yüksek

katalitik aktivite sergilediğini bildirmişlerdir. Ayrıca NO indirgenme reaksiyonu O_2 varlığında kolay bir şekilde gerçekleşmektedir (Maitarad ve ark., 2020). Esrafil ve ark. Nitrojen katkılı grafen üzerine NO indirgenme reaksiyonunu CO yoluyla incelemişlerdir. Onlar NO moleküllerinin indirgenme reaksiyonu üzerinde CO_2 reaksiyon adımının genel reaksiyonun hız belirleyici adımı olduğunu bildirmişlerdir. (Esrafil ve Saeidi, 2017). Esrafil, silisyum katkılı boron nitrit nanotabaka üzerinde NO indirgenme reaksiyonunu araştırmıştır. Silisyum katkılı boron nitrit nanotabaka üzerinde NO sadece 0.39 eV'lik bir aktivasyon bariyeri ile N_2O 'a dönüşmektedir (Esrafil, 2018). Esrafil ve ark. Al (Alüminyum) ve P (Fosfor) katkılı hekzagonal boron nitrit üzerinde NO'nun N_2O 'a dönüşüm reaksiyonu incelemişlerdir. Onların elde ettikleri sonuçlar göstermiştir ki, NO parçalanması her iki yüzey üzerinde dimer mekanizma yoluyla N_2O 'a kolay bir şekilde indirgenebilmektedir. Ayrıca onlar NO'nun N_2O 'a dönüşümü için, Al katkılı hekzagonal boron nitrit tabakasının P katkılı hekzagonal boron nitrit tabakaya göre daha yüksek katalitik aktivite sergilediğini bildirmişlerdir (Esrafil ve ark., 2019). Yang ve ark. tek atom demir grafen üzerinde NO indirgenme reaksiyonunu NH_3 etkisi ihmal edilerek araştırmışlardır. Bu çalışmada NO indirgenme reaksiyonu 0.81 eV bir aktivasyon enerjisine sahiptir. Ayrıca NO katalitik indirgenme reaksiyonu termodinamik olarak favoridir ve reaksiyon ekzotermik olarak gerçekleşmiştir (Yang ve ark., 2019). Literatürde tek atom grafen yüzeyler üzerinde bizim bildiğimiz başka bir çalışma bulunmamaktadır. Son yıllarda Mn katkılı grafen yüzey farklı kimyasal reaksiyonlar üzerinde gösterdiği yüksek katalitik aktiviteden dolayı ön plana çıkmıştır (Yang ve ark., 2020; Song ve ark., 2012; Jiang ve ark., 2018; Impeng ve ark., 2019). Bu çalışmada NO indirgenme reaksiyonu Mn katkılı grafen yüzey üzerinde yoğunluk fonksiyonel teorisi yoluyla incelenmiştir. Öncelikle Mn katkılı grafen yüzeyin en kararlı geometrik yapısı inşa edilmiştir. Sonra bader yük analizi yoluyla, metal ve komşu karbon atomları arasında yük değerleri elde edilmiş ve yük yoğunluğu bölgeleri elektron yoğunluk farkı haritası yoluyla gösterilmiştir. Son olarak reaksiyon mekanizmasını oluşturan atomik ve moleküler yapıların adsorpsiyon çalışması yapıldı ve reaksiyon mekanizması CINEB metodu yoluyla analiz edildi.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hesaplama yöntemi

Bu makalede elde edilmiş tüm veriler yoğunluk fonksiyonel teori tabanlı Quantum Espresso 6.3 kodu ile hesaplandı (Giannozzi ve ark., 2009a; Giannozzi ve ark., 2009b). GGA_PBE değiş tokuş korelasyon fonksiyoneli olarak seçildi (Monkhorst ve Pack, 1976). Valans ve çekirdek arasındaki etkileşimleri tanımlamak için PAW potansiyeli kullanıldı (Kresse ve Joubert, 1999). Veri analizleri boyunca, düzlem dalga genişletmeleri (Cutoff) 70 Ry ve kinetik kesilim enerji terimi 700 Ry olarak alındı. Atomik ve moleküler yapılar ile yüzey arasındaki zayıf etkileşimler için Grimme-D2 terimi sistem içerisinde tanımlandı (Grimme ve ark., 2010). Geometrik optimizasyonların yeterli doğruluğunu sağlayabilmek için kuvvet ve enerji yakınsatma kriterleri sırasıyla 1×10^{-5} Ry/atom ve 1×10^{-6} Ry/atom alındı. Tüm hesaplamalarda ve bader yük analizleri için sırasıyla $4 \times 4 \times 1$ ve $14 \times 14 \times 1$ Monkhorst-Pack k-nokta seti kullanıldı. Atomik ve moleküler yapıların gaz fazındaki toplam enerji hesaplamaları için 15 \AA^3 yan uzunluğa sahip üç boyutlu kutu seçildi. Hedeflenen sistem içerisinde tüm kısmi yük yoğunluğu hesaplamaları bader yük analiz programı yoluyla elde edildi (Henkelman ve ark.,

2006). Elektron yoğunluk farkı haritalarının elde edilmesi için VESTA programı kullanıldı. Adsorpsiyon enerjisi (E_{ads}) hesaplamaları aşağıda verilmiş denklem yoluyla hesaplandı.

$$E_{ads} = E_{adsorbat/yüzey} - (E_{yüzey} + E_{adsorbat})$$

Burada, $E_{adsorbat/yüzey}$; atomik veya moleküler yapılar (adsorbat) ile yüzey etkileşmesi sonucunda elde edilmiş toplam enerji, $E_{yüzey}$; optimize edilmiş Mn grafen yüzeyin toplam enerjisi ve $E_{adsorbat}$; adsorbat yapıların üç boyutlu kutu içerisinde elde edilmiş gaz fazındaki toplam enerjilerini göstermektedir.

Reaksiyon adımları arasındaki geçiş durum hesaplamaları için (Nudged elastic band) NEB metodu kullanıldı (Jonsson ve ark., 1998). Aktivasyon enerjisi değerleri ve geçiş durum geometrileri CI-NEB (Climbing Image-Nudged Elastic Band) yoluyla elde edildi (Henkelman ve ark., 2000).

Reaksiyon (E_R) ve aktivasyon enerjisi (E_A) hesaplamaları denklem (2,3) kullanılarak hesaplandı.

$$E_R = E_{BD} - E_{SD} \quad (2)$$

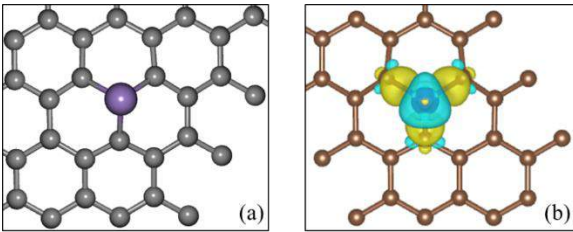
$$E_A = E_{GD} - E_{BD} \quad (3)$$

Burada E_R ve E_A sırasıyla reaksiyon ve aktivasyon enerjilerini göstermektedir. E_{BD} ve E_{SD} sırasıyla bir reaksiyon adımının başlangıç ve son durum geometrilerinin toplam enerjilerini göstermektedir. E_{GD} ise E_{BD} ve E_{SD} arasındaki geçiş durum enerji değeridir. Optimizasyon sonrasında elde edilen son görüntüler ve bağ uzunlukları için sırasıyla Burai ve Avogadro (Hanwell ve ark., 2012) programları kullanıldı.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Mn katkılı grafen yüzey geometrisi ve elektron yoğunluk farkı haritası

Bu çalışmada yoğunluk fonksiyonel teorisi tabanlı önerilen model ve yöntemlerin yeterli doğruluğunu sağlamak için, Mn katkılı grafen (MnG) yüzeyin en kararlı geometrik yapısı araştırıldı. Öncelikle en yakın karbon karbon arasındaki mesafe 1.42 Å olan (Yang, 2009) ve 32 karbon atomundan oluşan 3×3 grafen tabakası inşa edildi. Grafen tabakanın merkezinde bulunan karbon atomunun çıkarılıp yerine Mn atomunun katılması ile MnG yüzey elde edildi ve Şekil 1a'da gösterildi.



Şekil 1. (a) Mn katkılı grafen yüzey ve (b) Mn katkılı grafen yüzeyin elektron yoğunluk farkı haritasının (±0.004 au) üstten görünüşü.

Optimize edilmiş MnG yüzey için elde edilmiş bazı önemli parametreler Tablo 1'de verildi. Bizim elde ettiğimiz sonuçlar literatürde daha önce yapılmış çalışma ile tutarlıdır (Krashennnikov ve ark., 2009).

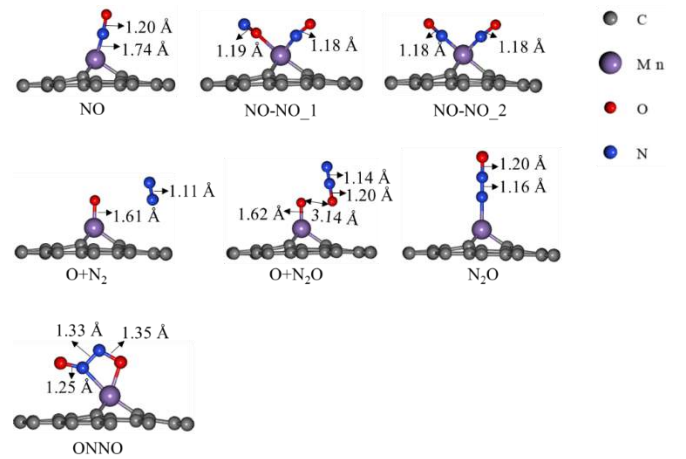
Tablo 1. Optimize edilmiş Mn katkılı grafen yüzeyin fiziksel parametreleri

Parametreler	Bu çalışmada	Literatürde
Yükseklik-(Å)	1.3	1.3
Bağ uzunlukları (Å) (Mn-C)	1.83	1.84
Manyetik moment (μ_B)	3	3
Adsorpsiyon enerjisi (E_B) (eV)	-6.42	-6.48

Buna ilaveten, bader yük analizi yoluyla en yakın karbon atomları ve Mn arasındaki kısmi yük değerleri hesaplanmıştır. Yük geçişlerine bağlı olarak elde edilen elektron yoğunluk farkı (EYF) haritası Şekil 1b'de gösterildi. EYF haritası üzerinde görülen sarı ve mavi bölgeler sırasıyla kazanılan ve kaybedilen elektron alanlarını göstermektedir. Şekil 1b'de görüldüğü gibi, Mn ve en yakın karbon atomları arasındaki sarı bölgeler güçlü bir kimyasal bağlanmayı işaret etmektedir. EYF haritası üzerinde görülen mavi bölgeler Mn atomundan karbon atomlarına doğru elektron geçişi sonrasında Mn atomu civarında biriken pozitif yük yoğunluğu bölgelerini göstermektedir. Bizim elde ettiğimiz sonuçlara göre, Mn atomu üzerinde +0.81|e| bir pozitif yük yoğunluğu oluşmaktadır. Bu yük yoğunluğu bölgesi bir katalizörün seçiciliği ve katalitik aktivite tayininin belirlenmesinde kilit rol üstlenmektedir.

3.2. Mn katkılı grafen yüzey üzerinde NO ve N₂O moleküllerinin adsorpsiyon mekanizması

Bir katalizör yüzeyi üzerinde farklı potansiyel çekim alanlarına sahip adsorpsiyon bölgeleri bulunmaktadır. Atomik veya moleküler yapıların yüzey üzerindeki en kararlı adsorpsiyon bölgelerinin bulunması katalizör seçiciliği ve aktivitesi için oldukça önemlidir. Bu bölümde MnG yüzey üzerinde NO molekülün farklı adsorpsiyon doğası araştırıldı. Optimizasyon sonrasında tüm yapılar için elde edilmiş en kararlı adsorpsiyon geometrileri Şekil 2'de gösterildi.



Şekil 2. Mn katkılı grafen yüzey üzerinde N₂O ve NO için farklı adsorpsiyon geometrilerinin yandan görünüşü

N₂O için, N₂O molekülü yüzeye moleküler bir şekilde bağlanmak yerine N₂ ve O (oksijen) ara durum moleküllerine direkt olarak parçalanmayı tercih eder. N-N-O bağından kopan O atomu Mn atomuna bağlanmayı tercih ederken, N₂ molekülü yüzeye zayıf etkileşmeler yoluyla bağlanmıştır. MnG yüzey üzerinde N₂+O ikili adsorpsiyon geometrisi Şekil 2'de

gösterilmiştir. Mn-O ve N-N arasındaki bağ uzunlukları sırasıyla 1.61 Å ve 1.11 Å elde edildi. Ayrıca N₂+O için elde edilmiş adsorpsiyon enerjisi -5.34 eV bulundu.

NO için, NO molekülü yüzeye N (azot) tarafından bağlanmayı tercih etmektedir. Yüzey ile etkileşen NO için elde edilen adsorpsiyon enerjisi -2.01 eV'dir. Ayrıca N-O ve Mn-O arasındaki bağ uzunlukları sırasıyla 1.20 Å ve 1.74 Å bulundu.

Yüzey üzerinde NO molekül sayısı artırıldığında NO-NO için iki farklı adsorpsiyon geometrisi düşünüldü.

Birinci adsorpsiyon geometrisi NO moleküllerinden birinin yüzeye N tarafından ve diğerinin ise O tarafından bağlandığı durumu (NO_NO_1) göstermektedir. Yüzey üzerinde NO_NO_1 geometrisi için elde edilen adsorpsiyon enerjisi -2.30 eV elde edildi. Ayrıca N-O ve N-O arasındaki bağ uzunlukları sırasıyla 1.18 Å ve 1.19 Å bulundu.

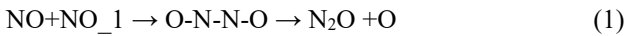
İkinci adsorpsiyon geometrisi her iki NO molekülünün yüzeye N tarafından bağlı olduğu durumu gösterir. Bu geometri NO_NO_2 olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. NO moleküllerinin her ikisi de N tarafından yüzeye bağlandığında bu geometri için elde edilen adsorpsiyon enerjisi -3.39 eV elde edildi. Ayrıca yüzey üzerinde N-O arasındaki bağ uzunlukları 1.18 Å bulundu.

ONNO molekülü yüzeye O ve N tarafından adsorbe tercih etmektedir. Mn katılı grafen yüzey üzerinde optimize olmuş ONNO molekülünün adsorpsiyon enerjisi -2.14 eV elde edildi. O-N, N-N ve N-O arasındaki bağ uzunlukları sırasıyla 1.13 Å, 1.33 Å ve 1.35 Å olarak hesaplandı.

N₂O+O için, MnG yüzey üzerinde 2NO molekülünün etkileşmesi yoluyla N₂O+O ikili adsorpsiyon geometrisi ortaya çıkmaktadır. Bu geometri Şekil 2'de gösterilmiştir. Adsorpsiyon boyunca O atomu yüzey üzerinde Mn atomuna bağlanmayı tercih ederken N₂O molekülü O atomundan 3.14 Å uzaklıktadır. N₂O+O için hesaplanan adsorpsiyon enerjisi -5.36 eV elde edildi.

3.3. Mn katılı grafen yüzey üzerinde NO indirgenme reaksiyon mekanizması

MnG yüzey üzerinde NO indirgenme reaksiyonu için iki olası reaksiyon yolu düşünüldü. Reaksiyon mekanizması aşağıda denklem (1-2)'de verilmiştir.

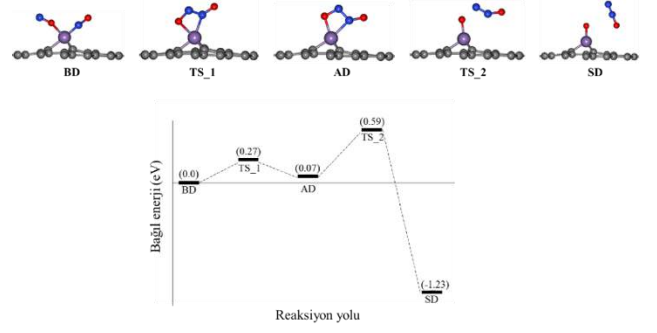


Her iki reaksiyon yolu Langmuir – Hinshelwood modeline göre düşünüldü. Bu modele göre reaksiyona giren ürünler yüzeye kimyasal olarak bağlı durumdadırlar. Bu neden yüzey üzerinde NO molekülünün farklı bağlanma durumlarına göre iki reaksiyon yolu CINEB metodu yoluyla araştırılmıştır.

3.3.1. NO+NO_1 → N₂O + O reaksiyonu

MnG yüzey üzerinde NO+NO_1'den N₂O+O indirgenmesi iki reaksiyon adımı altında incelendi. Genel reaksiyon mekanizması ve elde edilen sonuçlar Şekil 3'de gösterilmiştir. Reaksiyonun birinci adımı için, Şekil 2'de gösterilen NO+NO_1 geometrisi reaksiyonun başlangıç durumu (BD) olarak düşünüldü. Yüzey üzerinde N-N bağlarının etkileşmesi sonucunda ONNO ara durum (AD) molekülü ortaya çıkmaktadır (Şekil 2). Birinci geçiş durumunda (GD1), NO moleküllerinin N atomları birbirlerine doğru hareket eder. Geçiş anında O-N, N-N ve N-O arasındaki bağ uzunlukları 1.31 Å, 1.36 Å ve 1.25 Å elde edildi. Bu reaksiyon adımının gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan

enerji bariyeri 0.27 eV elde edildi. Ayrıca reaksiyon enerjisinin +0.07 eV bulunması, bu reaksiyon adımının endotermik olarak gerçekleştiğini göstermektedir.

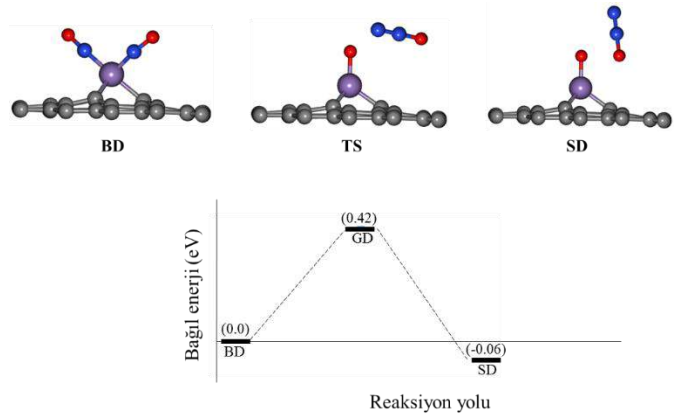


Şekil 3. Mn katılı grafen yüzey üzerinde NO+NO_1 → N₂O+O reaksiyonu için tüm olası durumların yandan görünüşü ve bağlı enerji diyagramı

İkinci reaksiyon adımı için, birinci reaksiyon adımı sonunda elde edilen ara durum molekülü ONNO bir sonraki reaksiyonun başlangıç durumu olarak düşünüldü. Molekülden tek bir oksijen atomunun koparılması yoluyla elde edilen N₂O+O reaksiyonun son durum olarak belirlendi. İkinci geçiş durumunda (GD2), O-N atomu arasındaki bağ uzunluğu 1.68 Å elde edildi. Son durumda yüzeye adsorbe olmuş O atomu ile N₂O arasındaki uzaklık 2.95 Å olarak hesaplandı. MnG yüzey üzerinde bu reaksiyon adımının gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan enerji bariyeri 0.59 eV elde edildi. Reaksiyon adımı için -1.23 eV bulunan pozitif reaksiyon enerjisi değeri, reaksiyonun ekzotermik olarak gerçekleştiğini göstermektedir.

3.3.2. NO+NO_2 → N₂O + O reaksiyonu

Bu reaksiyon adımı için, MnG yüzey üzerinde optimize edilmiş NO+NO_2 geometrisi reaksiyonun başlangıç durumu olarak düşünüldü. CINEB metodu yoluyla elde edilen bağlı enerji diyagramı ve reaksiyon yolu Şekil 4'de gösterildi.



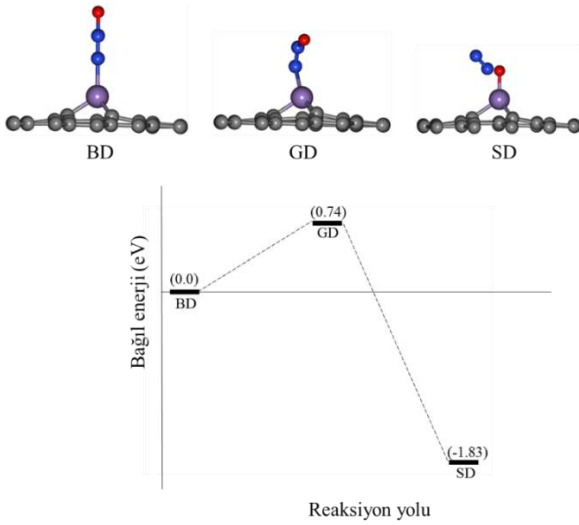
Şekil 4. Mn katılı grafen yüzey üzerinde NO+NO_2 → N₂O+O reaksiyonu için tüm olası durumların yandan görünüşü ve bağlı enerji diyagramı

Reaksiyon sonunda elde edilen N₂O+O konfigürasyonu reaksiyonun son durumu olarak belirlendi. Geçiş durumunda, O-N bağı parçalanır ve N atomu diğer NO moleküle doğru hareket eder. Buna ilaveten geçiş anında O-N ve O-N₂O arasındaki mesafeler sırasıyla 1.20 Å ve 3.34 Å elde edildi. Son durumda O atomu Mn atomuna adsorbe olmayı tercih ederken N₂O molekülü yüzeyden uzaklaşır. NO+NO_2 → N₂O+O reaksiyonun gerçekleşmesi için gereken aktivasyon enerjisi 0.42 eV

hesaplandı. Ayrıca reaksiyon enerjisinin -0.06 eV bulunması, bu reaksiyonun ekzotermik olarak gerçekleştiğini göstermektedir.

3.4. Mn katkılı grafen yüzey üzerinde N₂O parçalanması

Bölüm 3.3.1. ve 3.3.2. elde edilen sonuçlara göre reaksiyon sonunda N₂O molekülü ortaya çıkmaktadır. Bu bölümde MnG yüzey üzerinde N₂O parçalanması araştırıldı. N₂O parçalanması için iki olası reaksiyon yolu düşünüldü. N₂O molekülü yüzeye O tarafından yaklaştırılırsa direkt olarak bariyersiz bir şekilde O+N₂ parçalanmaktadır. Ancak N₂O molekülü yüzeye N tarafından yaklaştırılırsa bir parçalanma reaksiyonu gerçekleşir. Bu durumda Şekil 5'de gösterilen N₂O (BD) ve O+N₂ (SD) konfigürasyonları sırasıyla reaksiyonun başlangıç durumu ve son durumu olarak düşünüldü. Geçiş durum geometrisi ve elde edilen sonuçlar Şekil 5'de ayrıca verildi.



Şekil 5. Mn katkılı grafen yüzey üzerinde N₂O → N₂ + O reaksiyonu için tüm olası durumların yandan görünüşü ve bağıl enerji diyagramı

Parçalanma boyunca, N-N-O moleküler yapısından O atomu ayrılır ve yüzey üzerindeki Mn atomuna adsorbe olur daha sonrasında ise N₂ yüzeyden uzaklaşır. Geçiş anında N₂ ile O arasındaki mesafe 1.24 Å elde edildi. Bizim hesaplamalarımıza göre, N₂O → N₂ + O reaksiyonunun gerçekleşmesi için gereken aktivasyon enerjisi 0.74 eV hesaplandı. Ayrıca reaksiyon enerjisinin -1.83 eV bulunması, bu reaksiyon adımının ekzotermik olarak gerçekleştiğini göstermiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada MnG üzerinde NO indirgenme reaksiyonu yoğunluk fonksiyonel teorisi yoluyla incelendi. MnG yüzeyin yük yoğunluğu bader yük analizi ile araştırıldı ve yük dağılımı elektron yoğunluğu farkı haritası üzerinde gösterildi. Elde edilen sonuçlara göre Mn ve en yakın karbon atomları arasında güçlü bir kimyasal etkileşme oluşmaktadır. Buna ilaveten Mn üzerinde önemli bir pozitif yük yoğunluğunun biriktiği tespit edilmiştir. NO indirgenme reaksiyonu için iki farklı reaksiyon yolu önerilmiş ve bizim çalışma sonuçlarımız göstermiştir ki, birinci reaksiyon yolu NO+NO₁ → GD1 → O-N-N-O → GD2 → N₂O+O için ihtiyaç duyulan enerji bariyerleri GD1 ve GD2 değerleri sırasıyla 0.27 eV ve 0.59 eV elde edilmiştir. Diğer reaksiyon yolu NO+NO₂ → GD1 → N₂O+O için ihtiyaç duyulan enerji bariyeri ise 0.42 eV hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, MnG yüzey

üzerinde NO indirgenmesi için minimum enerjili reaksiyon yolu NO+NO₂ → GD1 → N₂O+O reaksiyonudur. Ayrıca MnG yüzey üzerinde N₂O parçalanma reaksiyonu araştırılmıştır. Bizim hesaplama sonuçlarımız göstermiştir ki, MnG yüzey üzerinde N₂O → GD1 → N₂+O reaksiyonu 0.74 eV'lik bir enerji bariyerinin aşılması ile gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar NO indirgenme reaksiyonu için MnG'in ideal bir katalizör aday olduğunu göstermiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışmada bildirilen sayısal hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, yüksek performans ve Grid Bilgi İşlem Merkezi'nde (TRUBA kaynakları) gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

- Akça, A., Karaman, O., Karaman, C. (2021). Mechanistic Insights into Catalytic Reduction of N₂O by CO over Cu-Embedded Graphene: A Density Functional Theory Perspective. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 10(4):041003.
- Chun, H. J., Apaja, V., Clayborne, A., Honkala, K., Greeley, J., (2017). Atomistic insights into nitrogen-cycle electrochemistry: A combined DFT and kinetic Monte Carlo analysis of NO electrochemical reduction on Pt (100). *ACS Catalysis*, 7(6):3869-3882.
- Esrafilı, M.D., (2018). NO reduction by CO molecule over Si-doped boron nitride nanosheet: a dispersion-corrected DFT study. *Chemical Physics Letters*, 695:131-137.
- Esrafilı, M.D., Asadollahi, S., Heydari, S., (2019). A DFT study on NO reduction to N₂O using Al- and P-doped hexagonal boron nitride nanosheets. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 89:41-49.
- Esrafilı, M.D., Saeidi, N., (2017). Catalytic reduction of NO by CO molecules over Ni-doped graphene: a DFT investigation. *New Journal of Chemistry*, 41(21):13149-13155.
- Impeng, S., Junkaew, A., Maitarad, P., Kungwan, N., Zhang, D., Shi, L., Namuangruk, S., (2019). A MnN₄ moiety embedded graphene as a magnetic gas sensor for CO detection: A first principle study. *Applied Surface Science*, 473:820-827.
- Gao, F., Tang, X., Yi, H., Zhao, S., Li, C., Li, J., Meng, X., (2017). A review on selective catalytic reduction of NO_x by NH₃ over Mn-based catalysts at low temperatures: catalysts, mechanisms, kinetics and DFT calculations. *Catalysts*, 7(7):199.
- Giannozzi, P., Andreussi, O., Brumme, T., Bunau, O., Nardelli, M. B., Calandra, M., Baroni, S., (2017). Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 29(46):465901.
- Giannozzi, P., Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., Wentzcovitch, R.M. (2009). QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of physics: Condensed matter*, 21(39):395502.
- Grimme, S., Antony, J., Ehrlich, S., Krieg, H. (2010). A consistent and accurate ab initio parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H-Pu. *The Journal of chemical physics*, 132(15):154104.

- Hanwell, M.D., Curtis, D.E., Lonie, D.C., Vandermeersch, T., Zurek, E., Hutchison, G.R., (2012). Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. *Journal of cheminformatics*, 4(1):1-17.
- Henkelman, G., Uberuaga, B. P., Jónsson, H., (2000). A climbing image nudged elastic band method for finding saddle points and minimum energy paths. *The Journal of chemical physics*, 113(22):9901-9904.
- Huai, L. Y., He, C. Z., Wang, H., Wen, H., Yi, W. C., & Liu, J. Y., (2015). NO dissociation and reduction by H₂ on Pd (1 1 1): A first-principles study. *Journal of Catalysis*, 322:73-83.
- Jiang, Q., Zhang, J., Ao, Z., Huang, H., He, H., Wu, Y., (2018). First principles study on the CO oxidation on Mn-embedded divacancy graphene. *Frontiers in chemistry*, 6:187.
- Jónsson, H., Mills, G., Jacobsen, K.W., (1998). Nudged elastic band method for finding minimum energy paths of transitions.
- Karaman, C., Bayram, E., Karaman, O., & Aktaş, Z. (2020). Preparation of high surface area nitrogen doped graphene for the assessment of morphologic properties and nitrogen content impacts on supercapacitors. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 868, 114197.
- Karaman, C., Aktaş, Z., Bayram, E., Karaman, O., & Kızıllı, Ç. (2020). Correlation between the Molecular Structure of Reducing Agent and pH of Graphene Oxide Dispersion on the Formation of 3D-Graphene Networks. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 9(7), 071003.
- Karaman, C. (2021). Orange Peel Derived-Nitrogen and Sulfur Co-doped Carbon Dots: a Nano-booster for Enhancing ORR Electrocatalytic Performance of 3D Graphene Networks. *Electroanalysis*, 33, 1356-1369.
- Krasheninnikov, A.V., Lehtinen, P.O., Foster, A.S., Pyykkö, P., Nieminen, R.M., (2009). Embedding transition-metal atoms in graphene: structure, bonding, and magnetism. *Physical review letters*, 102(12):126807.
- Kresse, G., Joubert, D., (1999). From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method. *Physical review b*, 59(3):1758.
- Lu, Y.H., Zhou, M., Zhang, C., Feng, Y.P., (2009). Metal-embedded graphene: a possible catalyst with high activity. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(47):20156-20160.
- Luo, M., Liang, Z., Chen, M., Peera, S.G., Liu, C., Yang, H., Liang, T. (2020). Catalytic oxidation mechanisms of carbon monoxide over single-and double-vacancy Mn-embedded graphene. *New Journal of Chemistry*, 44(22):9402-9410.
- Maitarad, P., Junkaew, A., Promarak, V., Shi, L., Namuangruk, S., (2020). Complete catalytic cycle of NO decomposition on a silicon-doped nitrogen-coordinated graphene: Mechanistic insight from a DFT study. *Applied Surface Science*, 508:145255.
- Monkhorst, H.J., Pack, J.D. (1976). Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical review B*, 13(12):5188.
- Özcan, N., Karaman, C., Atar, N., Karaman, O., & Yola, M. L. (2020). A Novel Molecularly Imprinting Biosensor Including Graphene Quantum Dots/Multi-Walled Carbon Nanotubes Composite for Interleukin-6 Detection and Electrochemical Biosensor Validation. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 9(12), 121010.
- Saeidi, N., Esrafilı, M. D., Sardroodi, J.J., (2021). NO electrochemical reduction over Si-N₄ embedded graphene: A DFT investigation. *Applied Surface Science*, 544: 148869.
- Seker, E., Cavataio, J., Gulari, E., Lorpongpaiboon, P., Osuwan, S., (1999). Nitric oxide reduction by propene over silver/alumina and silver-gold/alumina catalysts: effect of preparation methods. *Applied Catalysis A: General*, 183(1):121-134.
- Song, E.H., Yan, J.M., Lian, J.S., Jiang, Q., (2012). External electric field catalyzed N₂O decomposition on Mn-embedded graphene. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(38):20342-20348.
- Taylor, K. C., Schlatter, J.C., (1980). Selective reduction of nitric oxide over noble metals. *Journal of Catalysis*, 63(1):53-71.
- Yang, C.K., (2009). A metallic graphene layer adsorbed with lithium. *Applied Physics Letters*, 94(16):163115.
- Yang, W., Gao, Z., Liu, X., Ma, C., Ding, X., Yan, W., (2019). Directly catalytic reduction of NO without NH₃ by single atom iron catalyst: A DFT calculation. *Fuel*, 243:262-270.
- Zhang, X., Xie, M., Wu, H., Lv, X., Zhou, Z., (2020). DFT study of the effect of Ca on NO heterogeneous reduction by char. *Fuel*, 265:116995.
- Zhou, M., Lu, Y. H., Cai, Y. Q., Zhang, C., Feng, Y.P., (2011). Adsorption of gas molecules on transition metal embedded graphene: a search for high-performance graphene-based catalysts and gas sensors. *Nanotechnology*, 22(38):385502.



Seismic Behavior Evaluation of URM Building in Rural Area

Başak Zengin^{1*},

^{1*} Kahramanmaraş İstiklal Univeristy, Elbistan Vocational High School, Kahramanmaraş, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3719-9423), zenginbasak@gmail.com

(First received 13 May 2021 and in final form 4 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.936853)

ATIF/REFERENCE: Zengin, B. (2021). Seismic Behavior Evaluation of URM Building in Rural Area. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 607-614.

Abstract

Approximately 30% of Turkey's population lives in rural areas and they are seated in structures, which called unreinforced masonry building (URM). These types of buildings consist of mudbrick structures with wooden carcasses, masonry-adobe structures with wooden supports, and brick and briquette masonry structures supported by reinforced concrete lintels. The construction of masonry structures is easy and low cost because of the easy availability of building materials such as brick and masonry, so it is frequently preferred.

However, these buildings, especially poorly constructed masonry buildings in many respects, have performed very badly in recent earthquakes, causing loss of life and property.

For this reason, it was once again seen that the demand for the improvement or strengthening of these structures is very important in terms of saving life and property, and that seismic research and evaluation are necessary for this purpose. In this study, the earthquake behavior of the brick masonry structure with a flexible diaphragm is evaluated using SAP2000 Finite element program. Two types of masonry buildings were modelled which are plain and bond beams. Displacement, Base shear, and Stress data The analysis results are obtained and compared for two models.

Keywords: Earthquake, Brick masonry building, Seismic evaluation.

Kırsal Alanda URM Binasının Deprem Davranışı Değerlendirmesi

Öz

Türkiye nüfusunun yaklaşık %30'u kırsal kesimde yaşıyor ve donatısız/betonarme olmayan yığma bina (URM) olarak adlandırılan yapılarda yaşamaktadırlar. Bu tip binalar, ahşap karkaslı kerpiç yapılar, ahşap destekli yığma-kerpiç yapılar ve betonarme lentolarla desteklenen tuğla ve briket yığma yapılardan oluşmaktadır. Yığma yapıların yapımı, tuğla ve yığma gibi yapı malzemelerinin kolay bulunabilirliği nedeniyle kolay ve düşük maliyetli olduğundan yaygın olarak rastlanmaktadır.

Ancak bu binalar, özellikle pek çok açıdan kötü inşa edilmiş yığma binalar, son depremlerde çok kötü performans göstermiş, can ve mal kaybına neden olmuştur.

Bu nedenle bu yapıların iyileştirilmesi veya güçlendirilmesi talebinin can ve mal kurtarılması açısından çok önemli olduğu ve bu amaçla sismik araştırma ve değerlendirme gerekli olduğu bir kez daha görülmüştür. Bu çalışmada esnek diyaframlı tuğla yığma yapının deprem davranışı SAP2000 Sonlu eleman programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Düz ve hatıl olmak üzere iki tip yığma bina modellenmiştir. Yer değiştirme, Taban kesme ve Gerilme verileri Analiz sonuçları elde edilmiş ve iki model için karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Tuğlalı Yığma Yapı, Sismik analiz.

* Corresponding Author: zenginbasak@gmail.com

1. Introduction

Masonry is the most common building types adopted throughout the world for the construction of low-medium rise buildings due to thermal insulation, culture and cost-effectiveness (Chourasia et al., 2019)

According to research 23.20 % of Turkey's population is living in rural areas (towns and villages), shown in (Table 1). The majority of people living in these regions prefer the masonry structure. In addition, many of the traditional and historical buildings were built as masonry. Masonry structures are preferred because they can be easily made from local materials and are economical (Göker & Karaşahin, 2015).

The causes of damage in masonry structures are mostly due to the fact that the load-bearing wall is placed on top of each other, the wall element units are not connected to each other with a strong mortar, and the creation of door and window gaps that will disrupt the integrity of the wall. In addition, the reasons such as not forming concrete or wooden continuous beams that are formed along the outer walls and placed on the inner walls, not making the crossing with smooth cut stones at the junction of the two walls formed perpendicularly, making the structure heavier with the soil covered roof flooring and not using a single type of material on the walls of the building are also important. (Sorguç 2000; Göker and Karaşin, 2015).

Table 1. Village and Urban Population of Turkey in 2011 and 2017 (Ceylan & Somuncu, 2018)

Year	Village		City		Total
	Population	%	Population	%	
2011	17.338.563	23,20	57.385.706	76,80	74.724.269
2017	6.049.393	7,48	74.761.132	92,52	80.810.525

Turkey is located in the seismic region and the rural housing stock is quite more, that is a fact that can not be ignored. Earthquake damages of rural houses cause great loss of life and property. In order to minimize these losses, emphasis should be placed on strengthening existing rural housing (Korkmaz, 2007).

Today, such structures are widely used in rural areas because they are economical and accommodate themselves according to the current environmental conditions (Sharma & Khare, 2016; Usta et al., 2017).

Masonry building can withstand the gravity load satisfactorily; however, unreinforced masonry building (URM) has the tendency to collapse in a brittle manner when subjected to earthquake load (Banerjee et al., 2020; Dutta et al., 2015).

The Confined masonry has always gained vital importance in construction applications, as it performs much better than unreinforced masonry and non-ductile reinforced concrete infill structures during seismic loads. The CM buildings are mostly known for the low-rise residences of South America, Central

America, Asian countries and European countries. Past research has demonstrated satisfactory performance (Gupta & Singhal, 2020)

Traditional URM buildings are still one of the most representativesample in the building stock of developing countries, even though their low seismic capacity is well known (Furtado et al., 2015; Gautam & Chaulagain, 2016; Pinar et al., 2018, Losanno et al., 2021)

Unreinforced masonry structures were badly damaged in various earthquakes. Many of these types of structures lived through even large earthquakes. They continue to pose a large seismic risk, not only in a rural areas but also in many parts of the world. In order to reduce casualties and property loss due to damage in masonry buildings in earthquakes, it is necessary to understand the true behavior and response of these buildings in lateral loads which is possible through research and study in this field. Unreinforced masonry structures show highly inelastic behavior. The nonlinear behavior of unreinforced masonry can be determined by conducting either various experiments or structural analysis. The linear static analysis methods are inadequate and inaccurate as they cannot incorporate the non-linear characteristics of unreinforced masonry. Therefore non-linear analysis of masonry buildings is preferable for both academics and practicing engineers (Chikanbanjar et al, 2019).

Most importantly, the presence of the vertical and horizontal reinforced concrete element plays an important role in preventing untimely fracture of the masonry and therefore helps in preventing the collapse of a single (or group) masonry panel. In fact, the behavior of a framed masonry wall has slightly greater strength and much greater ductility (ie, the capacity to dissipate energy in the plastic region) than an unconstrained masonry wall. In addition, the reinforced concrete members form a very good connection between in-plane and orthogonal masonry panels so that first mode collapse of walls (i.e. out of plane collapse) is entreated (Nucera et al., 2012) In terms of seismic vulnerability, the collapse of non-engineered and semi-engineered constructions had resulted in major losses as a consequence of the seismic event (Losanno et al., 2021).

During the last decades, masonry wall buildings were theoretically analyzed by means of finite element method both linearly and non linearly (Capozucca et al., 2018) In this paper the main objectives is to validate the model of a three-story masonry building with and without beam in SAP2000 software, to perform earthquake analysis by nonlinear time history analysis.

2. Material and Method

Two unreinforced masonry buildings of one, two, three-storey brick masonry building are taken for this study. T flexible types of floors are considered. One consists of a brick masonry wall with a bond beam while the other is a brick masonry wall without a bond beam. Each building is analysed separately. The architectural plan of all the buildings is the same as shown in Figure 1 (a). 3D Finite element model of masonry brick building is modelled using SAP2000 V22, shown in Figure 1 (b).

The first model is without bond beam, with a flexible diaphragm an opening indoor and window with a flexible diaphragm. The other is with bond beams at diaphragm level, lintel level and sill level with flexible diaphragm an opening indoor and window

with a flexible diaphragm. In addition, reinforcements are provided along the edges and at the door opening.

Three-story brick masonry houses with wall were shaped by SAP 2000 version 21. Both models have the same type 250 mm masonry thick wall and flexible roof diaphragm. The rectangle shell element was considered for the model of the wall. The shell element can be modelled homogeneous and shell layered, in our study, the layered shell area element is considered in order to obtain full shell behavior.

In the model, the lateral load carry by the shear walls. The Modelling of the Masonry building without and with the bond beam shown in Figure 2. The masonry building was modelled in shell and area, the material of building was chosen brick material, the material properties given in Table 2.

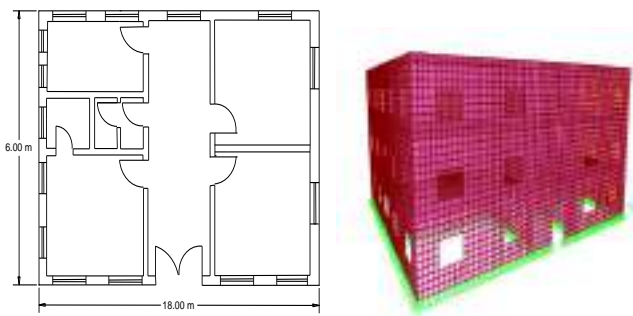


Figure 1. The 3-D model of 3-story Brick Masonry Building

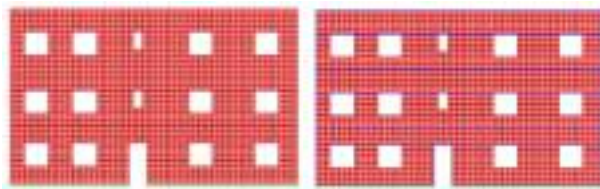


Figure 2. Masonry buildings models with and without a beam

For the reinforcement three-story masonry building, It was used at concrete beam diaphragm, lintel and Sill levels with a size of

250x 150 mm, and Beam Masonry pier was used for Edge and door opening with a size of 250x 250 mm. the Concrete Beam has 12mm # 2nos reinforcement detail at the top and bottom and, while the Beam Masonry pier has 10mm#4 nos. Reinforcement detail (Brijpuriya R. & Sharma, 2019)

Table 2. Material properties of the masonry (Brijpuriya & Sharma, 2019)

Type material	Compressi Strength	Modulus of Elasticity	Modulus of Rigidity	Density of masonry	Poisson of Ratio
Isotropc	2.5 MPa	1375 MPa	592.67MPa	20 kN/m ³	0.16

Nonlinear time history analysis is conducted for the assessment of buildings behavior against earthquake loads. For this purpose eleven earthquake data selected from the PEER database. To get an actual response and selecting the ground motion record, the TSC 2018, DD2 target response spectrum was used. Seismic hazard was defined assuming a seismic zone V (highest seismicity level) for a normal building (importance factor I =1) on a medium soil, with a peak ground acceleration (PGA) of 0.4g. Acceleration response spectra corresponding to 5% equivalent damping. The earthquakes are data shown in Figure 3 and the Characteristic of selected ground motions is shown in Table 3.

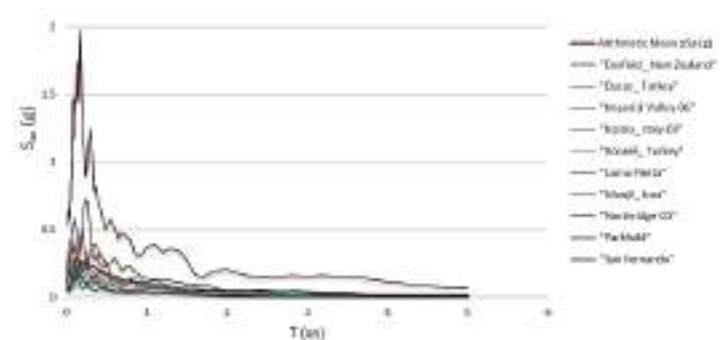


Figure 3. Selected Earthquake data

Table 3. Characteristic of selected ground motions

Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Mechanism
"Darfield_ New Zealand"	2010	"SPFS"	7	Strike slip
"Duzce_ Turkey"	1999	"Lamont 1061"	7.14	Strike slip
"Imperial Valley-06"	1979	"Cerro Prieto"	6.53	Strike slip
"Irpinia_ Italy-02"	1980	"Rionero In Vulture"	6.2	Normal
"Kocaeli_ Turkey"	1999	"Arcelik"	7.51	Strike slip
"Loma Prieta"	1989	"Coyote Lake Dam- Southwest Abutment"	6.93	Reverse Oblique
"Manjil_ Iran"	1990	"Abbar"	7.37	Strike slip
"Northridge-01"	1994	"Sunland- Mt Gleason Ave"	6.69	Reverse
"Parkfield"	1966	"Cholame - Shandon Array #12"	6.19	Strike slip
"San Fernando"	1971	"Santa Felita Dam (Outlet)"	6.61	Reverse

3. Result of Time History Analysis

It is concluded that the brick masonry building with bond beam may have significant effects on the seismic response of the masonry structures, therefore, this type of buildings need to be considered during the design and analysis of the building Nonlinear time history analysis was applied to evaluate the

seismic performance of the Brick masonry houses with and without bond beam. The eleven earthquake data were used during the analysis and the results are compared and shown in the form of graphs. The Periods of the Brick Masonry Model is shown in Figure 4.

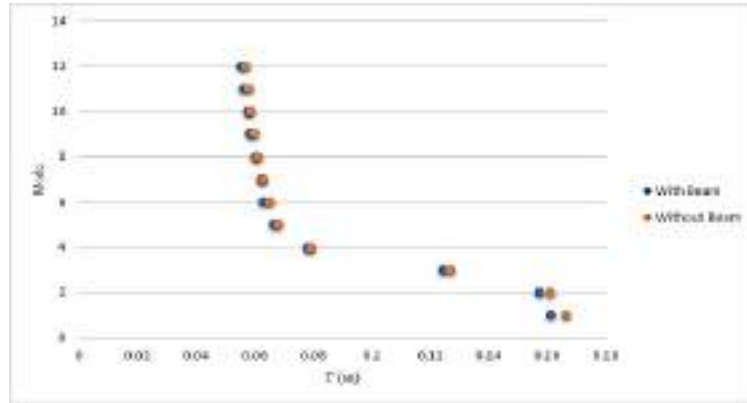
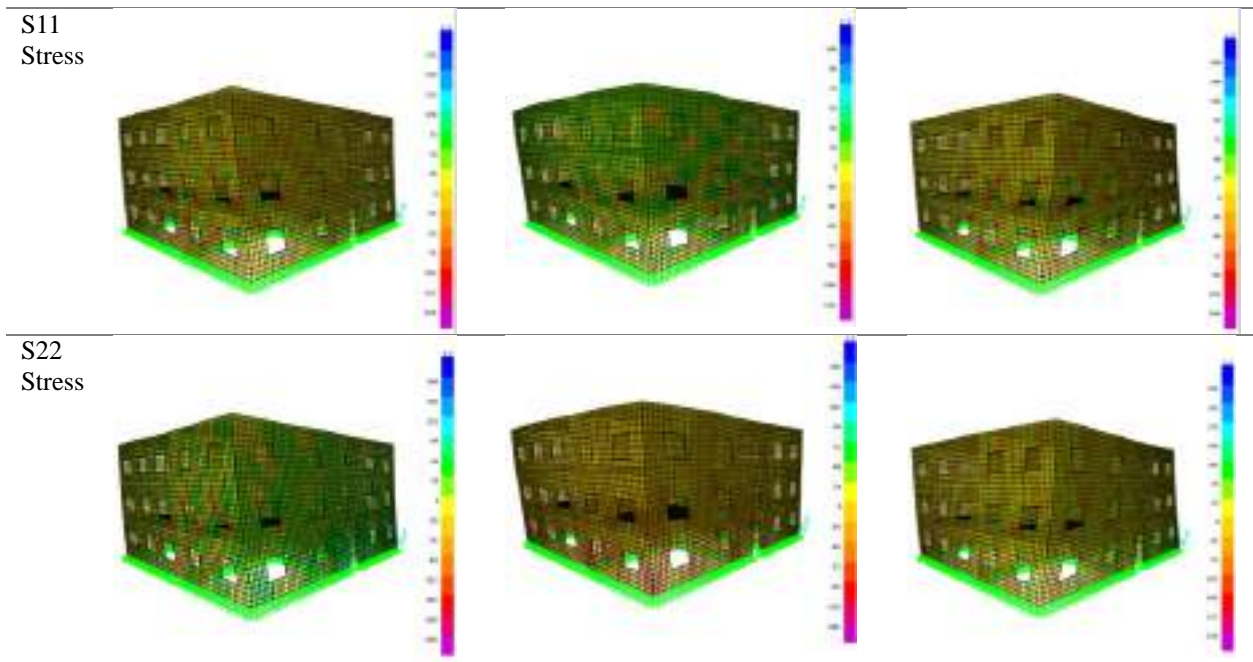


Figure 4. Periods of Brick Masonry Model

For the model without beam, The first period is approximately 0.167 and the period is 1.161 sec. For the model with beam, The first period is approximately 0.161 seconds which is very close to the second mode 0.157 sec due to the almost symmetric plan those corresponds to a bending mode shape on both orthogonal horizontal planes. Mode 3 involves shear and torsional movements. Mode 1 and mode 2 are predominant translation

modes that exhibit a high relative modal mass in both orthogonal direction and little or near zero in rotation (Saygılı, 2020) Figure 5 and Figure 6 shows the maximum principal stresses in the structure walls The stresses were determined from an SAP 2000 analysis with earthquake loads. The contour of S11, S22 and S12 stress the first three modes shapes of both models.



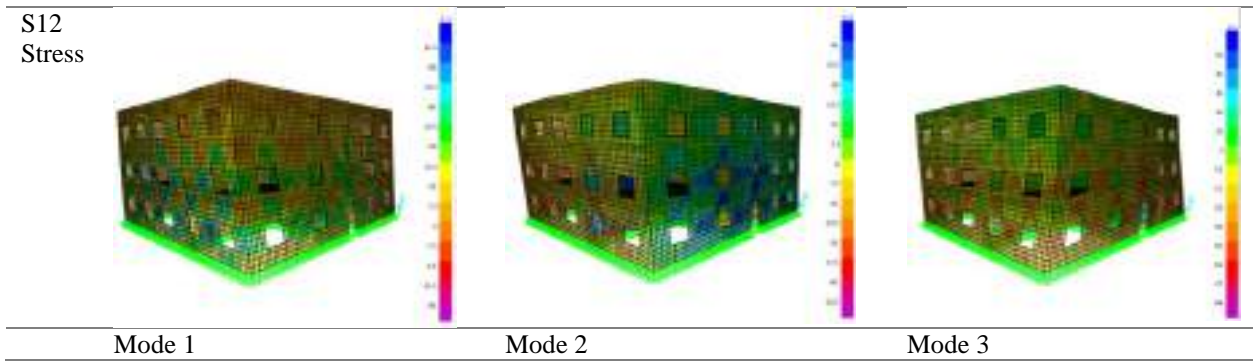


Figure 5. Stress values For the without Beam Model

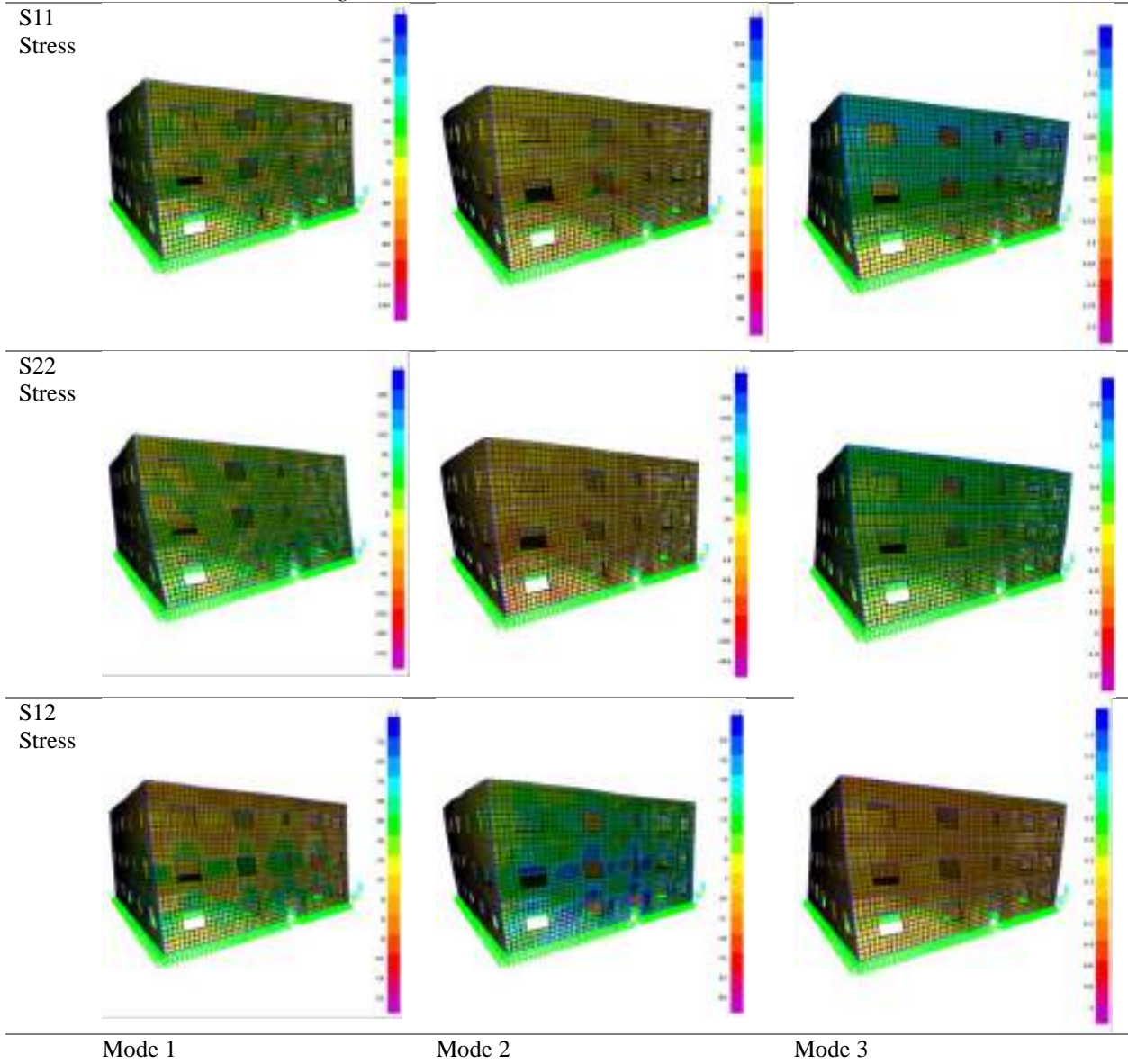


Figure 6. Stress values For the with Beam Model

The considered loads, in this case, is the building self-weights. In Figure 5 and Figure 6; the S11, S22 and S12 stresses reached at one of the surfaces of the shell elements are reported; it should be noted that the maximum value of stress, localized at the lower level. High concentrations of stress can also be found at the corners, windows or openings. It is worth underlining that the

color map in Figure 4 has been drawn taking different limits as MPa, that is the design value of the compressive masonry strength obtained using a confidence factor (FC) equal to 2.5 Mpa as the highest absolute value in the color scale. As seen from Figure 5 and Figure 6, most part of the structure remains under compression within permissible limits. Herefore the wall that is around the openings and lower levels should not crack in diagonal tension. There are regions of very high stress located at

the corners of the piers. These stresses are much greater than the tensile strength of the masonry, therefore the model is likely to crack in these regions. These types of cracks are consistent with the rocking of the structure. The majority of the masonry wall has stresses lower. Across the around the openings there is high stress which means it does not each the diagonal tension strength of the masonry.

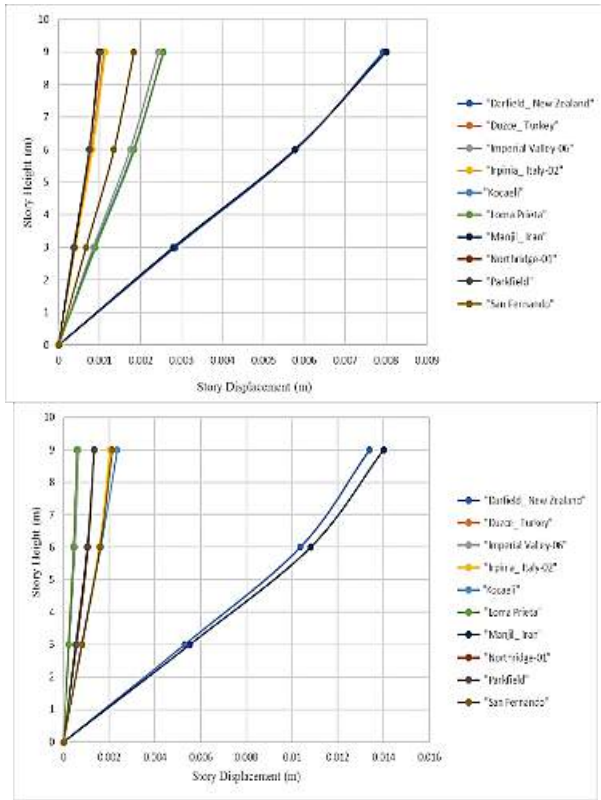


Figure 7. Story Displacements in without Beam model

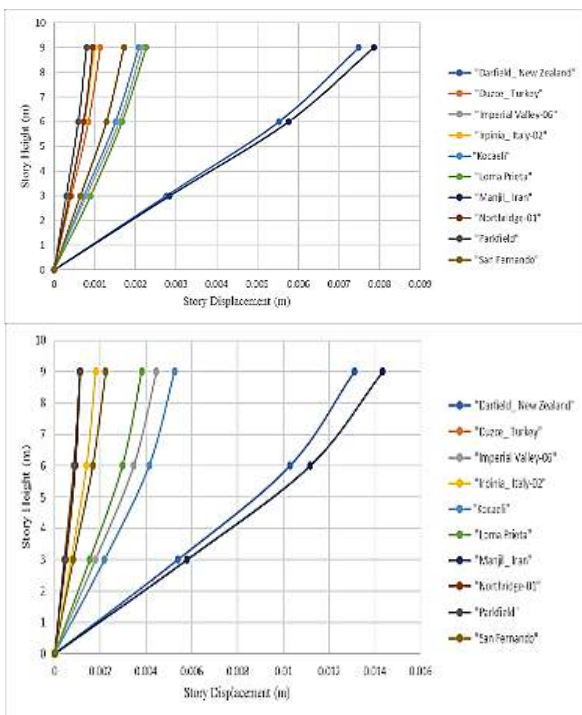


Figure 8. Story Displacements in with Beam model

Figure 7 and Figure 8 shows the relationship between displacements versus storey level. The difference between displacements of bottom and top storey of Brick Masonry model in X and Y direction. The maximum story displacement occurred "Manjil Iran" and "Darfield New Zealand" earthquake, respectively. The earthquakes that give the maximum displacement value in the two models and two directions are the same. When the displacement values obtained from the beamed and non-beam masonry models are compared, there is a decrease in the floor displacements when beams are added to the masonry model. Story displacement is more in the model without bond beam as compared to the model with the bond beam. Also, Story drift is maximum for the first model which is without a beam as compared to the model with the bond beam. Based on the story displacement observed in both models, we can say that the model with a bond beam has less displacement than the model without a bond beam.

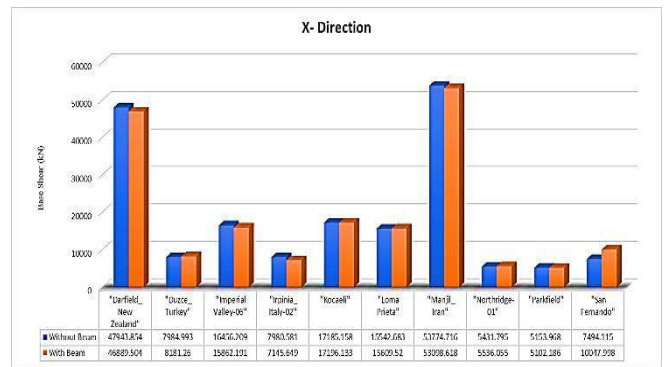


Figure 9. X-Direction Base Shear Values Comparison of the data obtained from both models

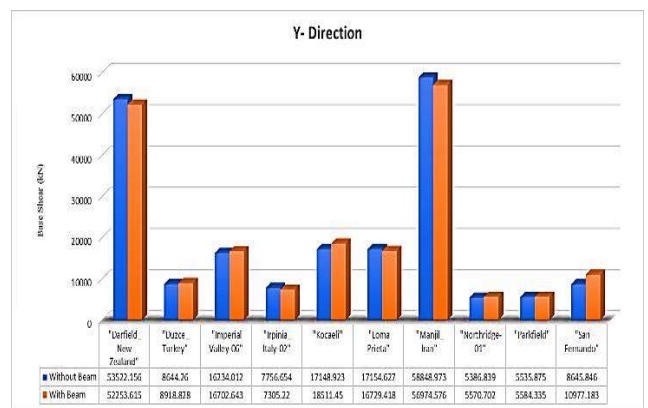


Figure 10. Y-Direction Base Shear Values Comparison of the data obtained from both models

From Figure 9 and Figure, 10 linear decreases of the maximum base shear observed. In the case of a building without beams led to higher base shear. Masonry walls with Beams led to a decrease in maximum base shear. The decrease is 2% when beams are used, rather than without beam. Similar trends are observed while comparing the drops in shear capacities of models with beam and without beam models. Base shear is

maximum for the “Manjil Iran” in both the cases with and without bond beam.



Figure 11. X- Direction Overturning Moment Values Comparison of the data obtained from both models

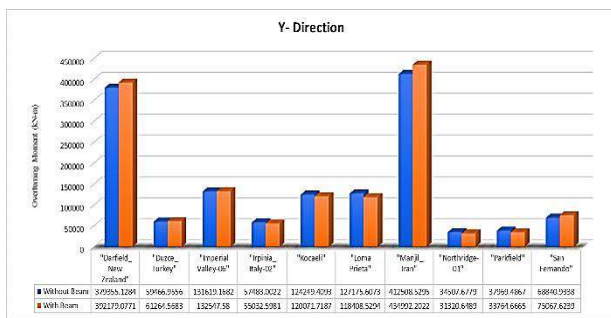


Figure 12Y-- Direction Overturning Moment Values Comparison of the data obtained from both models

The overturning moment has been compared in Figure 11 and Figure 12 below. The figures demonstrate the max influence of the overturning moment of the structure occurred in “manjilIran” for each model and the minimum values were in the Northridge earthquake.

4. Conclusions and Recommendations

Two typical types of stone masonry houses are modelled by using SAP version 21. The response of the brick masonry houses to different earthquake time histories is found in terms of top displacement, base shear, and shell stress. The maximum wall stresses under seismic design load were less than the wall strength. The maximum stress was observed at the corner of the opening that justify the importance of the bond beam to confine and strengthen the wall. Also, the maximum drift ratio of the with bond beam was 0.02% much smaller than the without beam. This means that the adoption of limited wall technology in single house construction, especially in rural areas, can lead to safer buildings with lower construction costs compared to alternative options.

For the rural areas in countries, masonry building with beam can be a real contribution to life protection of the inhabitants, in mitigation of seismic risk, but also as a reconstruction solution after the disaster, because it uses local materials and the construction method is easy to be applied even for non-engineered persons

References

Banerjee, S., Nayak, S., & Das, S. (2020). Shear and flexural behaviour of unreinforced masonry wallets with steel wire mesh. *Journal of Building Engineering*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101254>

Brijpuriya R., & Sharma, A. (2019). Seismic Evaluation of URM Building with Flexible Diaphragm using Nonlinear Static and Nonlinear Dynamic Analysis. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 48–54. <https://1library.net/document/q7wj18kz-seismic-evaluation-building-flexible-diaphragm-nonlinear-nonlinear-analysis.html>

Capozucca, R., Magagnini, E., & Pace, G. (2018). FE Modelling of Experimental Brickwork Masonry Building Under Eccentric Shear Force. *The Open Civil Engineering Journal*, 11(1), 1036–1058. <https://doi.org/10.2174/1874149501711011036>

Ceylan, S., & Somuncu, M. (2018). Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu International Geography Symposium on the 30 th Anniversary of TUCAUM 3-6 October.

Chourasia, A., Singhal, S., & Parashar, J. (2019). Experimental investigation of seismic strengthening technique for confined masonry buildings. *Journal of Building Engineering*, 25, 100834. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100834>

Dutta, S. C., Mukhopadhyay, P. S., Saha, R., & Nayak, S. (2015). 2011 Sikkim earthquake at eastern himalayas: Lessons learnt from performance of structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 75, 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2015.03.020>

Furtado, A., Ramos, T., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H., & Tavares, P. (2015). In-plane Response of Masonry Infill Walls: Experimental Study using Digital Image Correlation. *Procedia Engineering*, 114, 870–876. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.042>

Gautam, D., & Chaulagain, H. (2016). Structural performance and associated lessons to be learned from world earthquakes in Nepal after 25 April 2015 (MW 7.8) Gorkha earthquake. *Engineering Failure Analysis*, 68, 222–243. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.06.002>

Göker, Ş., & Karaşahin, A. (2015). Depremde hasar gören kırsal yapılar için bir yapısal hasar değerlendirmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 31–38. <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TVRrek56WTRPQT09/dep-remde-hasar-goren-kirsal-yapilar-icin-bir-yapisal-hasar-degerlendirmesi>

Gupta, A., & Singhal, V. (2020). Strengthening of Confined Masonry Structures for In-plane Loads: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 936(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/936/1/012031>

Korkmaz, S. Z. (2007). Kırsal konutların deprem güvenliğinin artırılması (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Losanno, D., Ravichandran, N., Parisi, F., Calabrese, A., & Serino, G. (2021). Seismic performance of a Low-Cost base isolation system for unreinforced brick Masonry buildings in developing countries. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 141, 106501. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106501>

Nucera, F., Santini, A., Tripodi, E., Cannizzaro, F., & Pantò, B. (2012). Influence of geometrical and mechanical parameters

- on the seismic vulnerability assessment of confined masonry buildings by macro-element modeling. In Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering, 24–28.
- Pinar, U., Nihat, M., Evcı, A., & Ergün, S. (2018). Assessment of Seismic Damage on the Exist Buildings Using Fuzzy Logic. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 300(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/300/1/012062>
- Saygılı, Ö. (2020). Seismic Performance Evaluation of a Masonry Building Subjected to Near And Far Field Ground Motions- ProQuest. Civil Engineering Journal, 3. <https://www.proquest.com/openview/ba4026522a02b836d47a12085962236f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4665243>
- Sharma, A., & Khare, R. (2016). Pushover Analysis for Seismic Evaluation of Masonry Wall. International Journal of Structural and Civil Engineering Research, 5(3). <https://doi.org/10.18178/ijscer.5.3.235-240>
- Usta, P., Arıcı, A., Evcı, A., & Kepenek, E. (2017). Sustainability of traditional buildings located in rural area. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 5(2), 231–236. <https://doi.org/10.21533/pen.v5i2.136>



Artımsal Popülasyonlu Karga Arama Algoritması

Burhanettin Durmuş^{1*}, Ayhan Gün², Hasan Temurtaş³

^{1*} Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, Kütahya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8225-3313),

burhanettin.durmus@dpu.edu.tr

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4223-2518), ayhan.gun@dpu.edu.tr

³ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6738-3024), hasan.temurtas@dpu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 5 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932389)

ATIF/REFERENCE: Durmuş, B., Gün, A. & Temurtaş, H. (2021). Artımsal Popülasyonlu Karga Arama Algoritması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 615-622.

Öz

Karga arama algoritması (CSA) kargaların zekâ davranışlarına temellendirilen yeni meta-sezgisellerden biridir. Basit yapısı ve az sayıda parametreye ihtiyaç duyması ona avantaj sağlamasına rağmen, erken yakınsama problemi ve yerel optimuma kolayca düşmesi özellikle çokmodlu (MM) problem çözümlerinde performansını düşürmektedir. Bu çalışmada, CSA'nın bu zayıflığını güçlendirmek ve etkinliğini arttırmak için artımsal popülasyon (IPOP) temelli CSA (ICSA) algoritmaları geliştirilmektedir. Genişleyen bir popülasyonu temel alan IPOP stratejisi ile hesaplama boyunca çözüm çeşitliliğinin sağlanması hedeflenmektedir. Geliştirilen dört adet CSA versiyonu 100-boyutlu test fonksiyonlarına uygulanarak performansları gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen metodların temel CSA'nın performansını iyileştirdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Meta-sezgisel, Optimizasyon, Karga arama algoritması.

Crow Search Algorithm with Incremental Population

Abstract

The crow search algorithm (CSA) is one of the new metaheuristics based on the intelligence behavior of crows. Although its simple structure and the need for few parametric adjustments give it an advantage, the problem of early convergence and easily falling to the local optimum decreases its performance in multimodal problems. In this paper, incremental population (IPOP) based CSA (IPOP-CSA) algorithm has been developed to strengthen this weakness of CSA and increase its efficiency. Using the IPOP strategy based on an expanding population, it is aimed to maintain the diversity of solutions throughout evolution. The four CSA versions developed are applied to 100-dimensional test functions to monitor their performance. The results obtained show that the proposed methods improve the performance of the basic CSA.

Keywords: Metaheuristic, Optimization, Crow search algorithm.

* Sorumlu Yazar: burhanettin.durmus@dpu.edu.tr

1. Giriş

Doğadaki birçok canlının davranış özellikleri içgüdüsel ve rastgele görünüyorsa olmasına rağmen, belirli bir akıl ve öğrenme kurallarına dayanır. Özellikle sürü halinde yaşayan canlıların ortak akılla hareketleri, onlara yiyecek arama, hayatta kalma ve avlanma yeteneklerinde önemli derecede katkı sağlamaktadırlar. Canlıların sahip olduğu içgüdüsel ve rastlantısal davranışlar, optimizasyon temelli çözüm metodlarının gelişimine de ilham olmaktadır. Gerek tasarım gerekse üretim safhalarında karşılaşılan problemlerin çözümlenmelerinde en uygun çözümü bulma hedefi, çeşitli canlıların hareket stratejilerini taklit ederek optimizasyon hesaplamaları temelinde yeni metodların üretilmesini sağlamaktadırlar. ABC (Karaboğa ve Baştürk, 2007), ACO (Dorigo ve Di Caro, 1999), COA (Rajabioun, 2011), PSO (Kennedy ve Eberhart, 1995), GWO (Mirjalili ve ark., 2014) ve WOA (Mirjalili ve Lewis, 2016) gibi algoritmalar bunların en iyi bilinenleridir ve literatürde yaygın bir şekilde kabul görmüşlerdir.

Öteyandan bu meta-sezgisellerin problem çözümlenmelerindeki performans kabiliyetlerini ve etkinliklerini arttırmak için kaos, zıt konumluluk ve hibritleştirme gibi çeşitli stratejiler bir araya getirilmektedir. Bu iyileştirmeleri konu alan çalışmaların bazıları şu şekildedir; kaotik haritalama yaklaşımları algoritmanın ilkendirme aşamasında kullanılarak CS-PSO algoritması geliştirilmiştir (Xu ark., 2018). Doğrusal popülasyon boyutu olasılığı, global arama faktörü (Yu ve ark., 2018), zıt konumlu öğrenme (Gao ve Liu, 2011) ve algoritmik bileşen konfigürasyonu (Aydın ve ark., 2017) gibi araçları kullanan çok sayıda ABC versiyonu geliştirilmiştir. Öz-öğrenme ve dinamik bilgi paylaşımı temelinde dayandırılan geliştirilmiş ACO algoritmaları sunulmuştur (Yang ve Zhuang, 2010; Zhang ve Zhang, 2017). Benzer yaklaşımlar ile COA, GWO ve WOA 'nın gelişmiş versiyonlarının sunulduğu birçok makale rapor edilmektedir (Abdollahi ve ark., 2016; Li ve ark., 2018; Sahoo ve Chandra, 2017; Saidala ve Devarakonda, 2018; Kaur ve Arora, 2018). Sonuç olarak, optimizasyon problemlerinin çözümünde meta-sezgisel algoritmaların kabiliyetlerinin artırılması güncelliğini koruyan bir alan olmayı sürdürmektedir.

CSA, son dönemde önerilmiş doğa esinli sezgisel algoritmalarından biridir (Askarzadeh, 2016). Kargaların zeka davranışları temelinde geliştirilen bu algoritma, çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde kayda değer başarımlar sunmaktadır. CSA 'nın basit yapısı ve az sayıdaki parametrik ayarlamaya ihtiyaç duyması onun çeşitli problemlerin çözümüne adaptasyonunu kolay kılmaktadır (Askarzadeh, 2016). Ancak CSA, arama stratejisinin efektif olmayışı sebebiyle MM problemlerinin çözümünde düşük bir performans sergilemektedir. Bundan dolayı bu çalışmada CSA 'nın kabiliyetini arttırmaya odaklanılmıştır. Bu bağlamda, CSA 'nın çözüm çeşitliliğini sürdürmek ve yakınsama performansını geliştirmek için ICSA algoritmaları geliştirilmiştir. IPOP yaklaşımının algoritmaların performansına önemli ölçüde katkı sağladığı literatürde raporlanmaktadır (Aydın ve Özyön, 2013; Özyön ve ark., 2018). Bu strateji temel olarak mevcut popülasyona belirli iterasyon adımlarında yeni ajan eklemeye dayanır. Bu sayede hesaplama sonuna kadar algoritmanın aday çözüm üretimindeki çeşitlilik sürdürülmektedir. Bu çalışmada, 4 farklı IPOP yaklaşımı kullanılarak geliştirilen CSA varyantları tekmodlu (UM: unimodal), çokmodlu (MM: multimodal) ve ayırık (S: separate) özelliklere sahip 24 fonksiyondan oluşan bir test setine

uygulanmıştır. Ayrıca klasik CSA makalesinde, 10-boyuta sahip çok az sayıda (sadece 5 adet) test fonksiyonu üzerinden algoritmanın performansı değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise 24 adet test fonksiyonu üzerinden 100-boyutlu problemlere hem klasik CSA hem de önerilen algoritmalar uygulanarak daha geniş bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

2. Klasik CSA

Klasik CSA, kargaların zekâ davranışlarına dayanan yeni sezgisel algoritmalarından biridir. Kargaların farkındalık yaratmak, araçlar kullanmak, yüzleri tanımak gibi istihbarat davranışları onların zeki kuşlardan biri olarak kabul edilmesini sağlamaktadır (Askarzadeh, 2016). Kargaların yiyecek saklama ve kurtarma davranışlarının takliti üzerine geliştirilen CSA algoritması, diğer popülasyon tabanlı arama algoritmaları gibi arama uzayında bireylerin yani kargaların rastgele konumlandırılması ile hesapsal sürece başlar. N adet kargaya sahip ve d -boyutlu bir problem için ilkendirme aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$x_{i,G} = [x_{i,G}^1, x_{i,G}^2, \dots, x_{i,G}^d] \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, N \quad \text{ve} \quad G = 1, 2, \dots, \text{maxIter}$$

Burada $x_{i,G}$, i . karganın G . nesildeki pozisyonunu temsil eder.

Optimizasyon problemine bağlı olarak amaç fonksiyonuna göre her bir karganın uygunluğu değerlendirilir. Daha sonra her bir karga için hatırlama kabiliyetlerini temsil eden, ziyaret edilen yerlerin konumları Denklem (2) 'deki gibi hafızaya alınır. Burada $M_{i,G}$ i . karganın mevcut iterasyona kadar ziyaret edilen eniyi konumunu temsil eder.

$$M_{i,G} = [m_{i,G}^1, m_{i,G}^2, \dots, m_{i,G}^d] \quad (2)$$

Kargalar yiyecek saklamak için çevrede hareket ederler. CSA 'da kargaların bu davranışı farkındalık olasılığı (AP) ve uçuş uzunluğu (fl) gibi parametreler ile manipüle edilmiş ve aşağıdaki denklemde bir araya getirilmiştir.

$$x_{i,G+1} = \begin{cases} x_{i,G} + r_i \cdot fl \cdot (M_{j,G} - x_{i,G}) & r_i > AP \\ random \quad aksihalde & \end{cases} \quad (3)$$

Burada fl , i . karganın uçuş uzunluğunu, $M_{j,G}$ j . karganın en iyi pozisyonunu, AP farkındalık olasılığını ve r_i ise rastgele sayıyı temsil eder (Askarzadeh, 2016).

Yeni pozisyonun sınır değerleri kontrol edildikten sonra amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. Eğer yeni pozisyon öncekinden daha iyi ise karganın hafızası güncellenir. Gelişim süreci durdurma kriterine ulaşıncaya kadar iterasyonlar boyunca sürdürülür. Final iterasyona ulaşıncaya en iyi sonuç geri döndürülür.

3. Artımsal CSA

Klasik CSA 'da sabit bir popülasyon havuzu kullanılmakta iken bu çalışmada artan bir popülasyon temelinde arama yapan 4 adet ICSA algoritmaları türetilmiştir. Artımsal popülasyon boyutuna sahip bu algoritmalar 4 farklı yeni birey ekleme stratejisini kullanırlar. Türetilen ICSA 'lar klasik CSA 'dan bu noktada farklılık göstermekte olup akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Popülasyona Yeni Birey Ekleme Kuralları

Durumlar	Türetilen Algoritmalar	Yeni Birey Ekleme Kuralı
Durum-1	ICSA-1	$x_{yeni,G} = x_{eniyei,G}$
Durum-2	ICSA-2	$x_{yeni,G} = x_{rand}$
Durum-3	ICSA-3	$x_{yeni,G} = x_{eniyei,G} + rand * (x_{i,G} - x_{eniyei,G})$
Durum-4	ICSA-4	$x_{yeni,G} = x_{i,G} + rand * (x_{eniyei,G} - x_{i,G})$

Genişleyen bir ajan popülasyonu aslında sosyal öğrenme temeline dayandırılır (Montes De Oca ve Stützle, 2008). Bu stratejiye göre popülasyon tabanlı sezgisel algoritmaların arama boyunca sabit bir popülasyon boyutu yerine adım uzunluğu (SL : step length) gibi belirli aralıklarla popülasyona yeni bireylerin eklenmesi ile hesaplama devam ettirilir. Böylelikle popülasyon boyutu dinamik bir hal alır.

Yeni birey eklenmesi popülasyon içerisinde hızlı bir yakınsamaya ve de çözüm çeşitliliğinin sürdürülebilirliğine olanak sağlamaktadır. Burada dikkat edilecek husus artan popülasyon boyutu ile sabit popülasyon boyutuna sahip metodların aynı şartlarda karşılaştırmalarıdır. Doğru (adil) bir karşılaştırma adına durdurma kriteri olarak iterasyon sayısı yerine fonksiyon çağırım sayısı (FE 's: function evaluation numbers) daha doğru bir yaklaşım olacaktır (Yavuz, 2021; Özyön 2020). Bu çalışmada da durdurma kriteri olarak FE 's kullanılmıştır.

algoritmasına uygulanmaktadır. Yeni birey ekleme işlemi için dört durum belirlenmiştir. Bu dört duruma göre türetilen CSA varyasyonları ve yeni birey ekleme kuralları Tablo 1'de sunulmuştur. Burada, $x_{yeni,G}$ G . jenerasyona eklenecek yeni bireyi (kargayı), $x_{eniyei,G}$ uygunluğu en iyi bireyi, x_{rand} rastgele bireyi, $x_{i,G}$ G . Jenerasyondan rastgele seçilen hedef bireyi ve $rand$ ise $[0,1]$ aralığında rastgele sayıyı temsil eder.

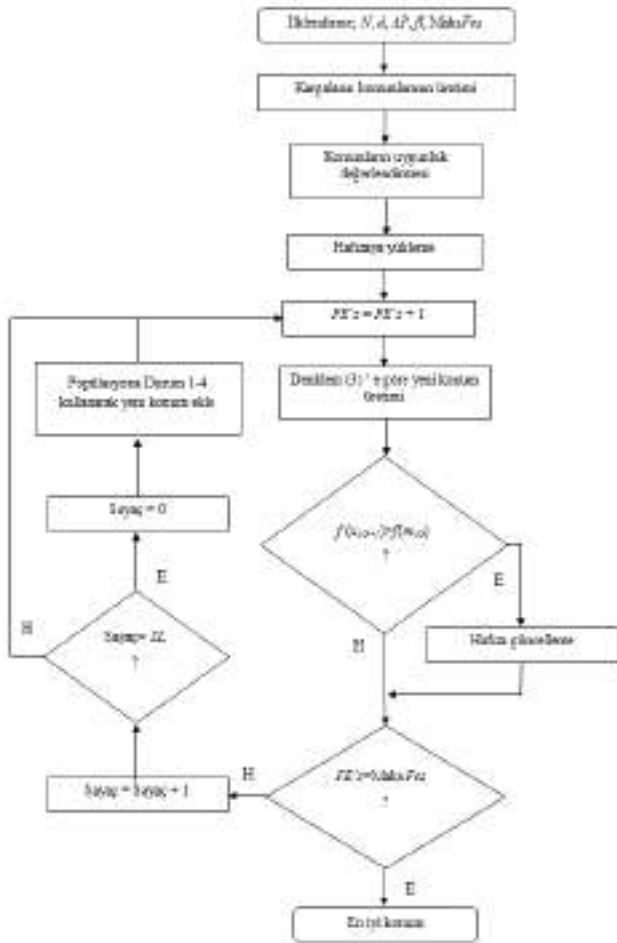
Yeni pozisyonun sınır değerleri kontrol edildikten sonra amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. Eğer yeni pozisyon öncekinden daha iyi ise karganın hafızası güncellenir. Gelişim süreci durdurma kriterine ulaşıncaya kadar iterasyonlar boyunca sürdürülür. Final iterasyona ulaşıncaya en iyi sonuç geri döndürülür.

4. Simülasyon Sonuçları

Önerilen ICESA algoritmalarının performanslarını değerlendirmek için Tablo 2 'de verilen 24 adet test fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonlar UM, MM ve S olmak üzere farklı karakterlere sahip fonksiyonlardır. Orijinal CSA makalesinde bu fonksiyonlardan sadece f_1 , f_5 , f_{10} , f_{13} ve f_{15} fonksiyonları kullanılmıştır ve boyut olarak sadece 10-boyut seçilmiştir (Askarzadeh, 2016). Bundan dolayı ilk olarak 10-boyutlu bu beş fonksiyona ait orijinal CSA ve önerilen ICESA sonuçları Tablo 3 'de verilmiştir. Öte yandan doğru bir karşılaştırma yapmak için CSA 'nın kullandığı parametre değerleri orijinal makaledeki değerlere bağlı kalınarak $AP=0.1$ ve $fl=0.5$ olarak seçilmiştir. Ayrıca önerilen ICESA algoritmaları dinamik bir popülasyon boyutuna sahip olduğundan önerilen algoritmaları eşit şartlarda yarıştırmaya adına, durdurma kriteri olarak FE 's temelli bir sınırlama getirilmiştir. Orijinal makalede olduğu gibi maksimum FE 's (MaksFes) 40000 olarak belirlenmiştir. Yeni birey ekleme adım uzunluğu $SL=5$ olarak seçilmiştir. Simülasyon çalışmaları Core i7 işlemciye sahip 8-GB RAM donanımlı bir PC 'de yapılmıştır. Her bir fonksiyon için 30 bağımsız çalışma gerçekleştirilerek elde edilen en iyi, ortalama ve standart sapma (S.S.) değerleri tablolarda sunulmuştur.

Tablo 3'deki değerler incelendiğinde önerilen ICESA 'ların klasik CSA 'yı geride bıraktığı görülmektedir. Özellikle MM fonksiyonlar olan f_{13} ve f_{15} 'de klasik CSA lokal optimumlara takılmıştır. ICESA 'lar f_{13} 'de global optimuma ulaşmayı başarmıştır. f_{15} 'de ise ICESA-2 ve ICESA-4 global optimuma ulaşmışlar, diğerleri ise klasik CSA 'ya göre daha düşük hata değerleri üretmişlerdir.

Otuz bağımsız denemeden elde edilen 100-boyutlu test fonksiyonlarına ait hesaplama sonuçları sırasıyla Tablo 4 ve 5 'de sunulmuştur. Elde edilen en iyi sonuçlar koyu renkte vurgulanmıştır. Tablo 4 ve 5 'e göre ICESA-1 algoritması 3 fonksiyonda, ICESA-2 algoritması 4 fonksiyonda, ICESA-3 algoritması 9 fonksiyonda ve ICESA-4 algoritması 4 fonksiyonda diğerlerine göre başarılı olmuşlardır. Diğer fonksiyonlarda ise eşitlik söz konusudur. Önerilen algoritmaların tüm durumlarda klasik CSA 'ya göre genel olarak daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir.



Şekil 1. ICESA Akış Şematiği

Literatürde mevcut popülasyonun zenginleştirilmesi için farklı yaklaşımlar rapor edilmiştir (Özyön ve ark., 2018). Benzer yaklaşımlar bu çalışmada da kullanılarak CSA

Tablo 2. Test Fonksiyonları

f	UM	MM	S	Fonksiyon Tanımı
f_1	√	-	√	$f_1 = \sum_{i=1}^n x_i^2$
f_2	√	-	-	$f_2 = \sum_{i=1}^n (10^6)^{(i-1)/(n-1)} x_i^2$
f_3	√	-	√	$f_3 = \sum_{i=1}^n ix_i^2$
f_4	-	√	√	$f_4 = \sum_{i=1}^n |x_i|^{(i+1)}$
f_5	√	-	-	$f_5 = \sum_{i=1}^n |x_i| + \prod_{i=1}^n |x_i|$
f_6	√	-	-	$f_6 = \max \{ |x_i|, 1 \leq i \leq n \}$
f_7	√	-	√	$f_7 = \sum_{i=1}^n (|x_i + 0.5|)^2$
f_8	√	-	√	$f_8 = \sum_{i=1}^n ix_i^4$
f_9	√	-	√	$f_9 = \sum_{i=1}^n ix_i^4 + random[0,1)$
f_{10}	√	-	-	$f_{10} = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$
f_{11}	-	√	√	$f_{11} = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
f_{12}	-	√	√	$f_{12} = \sum_{i=1}^n [y_i^2 - 10 \cos(2\pi y_i) + 10]$ $y_i = \begin{cases} x_i & |x_i| < \frac{1}{2} \\ \frac{round(2x_i)}{2} & |x_i| \geq \frac{1}{2} \end{cases}$
f_{13}	-	√	-	$f_{13} = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$
f_{14}	√	-	-	$f_{14} = 418.98 * n - \sum_{i=1}^n x_i \sin(\sqrt{|x_i|})$
f_{15}	-	√	-	$f_{15} = -20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos 2\pi x_i\right) + 20 + e$
f_{16}	-	√	-	$f_{16} = \frac{\pi}{n} \left\{ 10 \sin^2(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + (y_n - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 10, 100, 4)$ $y_i = 1 + \frac{1}{4} (x_i + 1) u_{x_i, a, k, m} \begin{cases} k(x_i - a)^m & x_i > a \\ 0 & -a \leq x_i \leq a \\ k(x_i - a)^m & x_i < -a \end{cases}$
f_{17}	-	√	-	$f_{17} = \frac{1}{10} \left\{ \sin^2(\pi x_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] + (x_n - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_{i+1})] \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 5, 100, 4)$
f_{18}	-	√	√	$f_{18} = \sum_{i=1}^n |x_i \sin(x_i) + 0.1x_i|$
f_{19}	-	√	-	$f_{19} = \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] + \sin^2(3\pi x_1) + |x_n - 1| [1 + \sin^2(3\pi x_n)]$
f_{20}	-	√	-	$f_{20} = \sum_{i=1}^D \left(\sum_{k=0}^{k_{\max}} [a^k \cos(2\pi b^k (x_i + 0.5))] \right) - D \sum_{k=0}^{k_{\max}} [a^k \cos(2\pi b^k 0.5)] \quad a = 0.5, b = 3, k_{\max} = 20$
f_{21}	-	√	-	$f_{21} = 0.5 + \frac{\sin^2\left(\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - 0.5}{\left(1 + 0.001 * \left[\sum_{i=1}^n x_i^2\right]\right)^2}$
f_{22}	-	√	√	$f_{22} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^4 - 16x_i^2 + 5x_i)$
f_{23}	-	√	√	$f_{23} = -\sum_{i=1}^n \sin(x_i) \sin^{20}\left(\frac{i * x_i^2}{\pi}\right)$
f_{24}	√	-	-	$f_{24} = (x_i - 1)^2 \sum_{i=2}^n i(2x_i^2 - x_{i-1})^2$

Tablo 3. 10-Boyutlu Test Fonksiyonlarına ait Deneysel Sonuçlar

Fonksiyon	İndeks	CSA	ICSA-1	ICSA-2	ICSA-3	ICSA-4
f_1	En iyi	9.54E-13	7.28E-21	1.25E-18	4.09E-11	2.65E-29
	Ortalama	4.09E-11	1.24E-07	1.34E-03	1.28E-06	9.63E-09
	S.S.	6.17E-11	2.48E-07	2.68E-03	1.45E-06	1.92E-08
f_5	En iyi	9.37E-06	9.36E-16	7.97E-14	1.41E-16	6.57E-17
	Ortalama	6.27E-03	1.73E-03	2.40E-03	5.74E-03	1.98E-03
	S.S.	1.99E-02	3.74E-03	4.80E-03	1.04E-02	3.41E-03
f_{10}	En iyi	1.52	0.00E+00	5.95E-26	1.75E-22	4.45E-29
	Ortalama	10.86	2.30E-04	3.81E-04	2.21E-04	4.66E-05
	S.S.	22.76	7.76E-04	1.52E-03	1.00E-03	9.63E-05
f_{13}	En iyi	0.0099	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.21	2.02E-02	5.37E-02	1.68E-03	1.95E-02
	S.S.	0.12	1.03E-01	1.97E-01	7.37E-03	1.02E-01
f_{15}	En iyi	1.02E-06	6.05E-12	0.00E+00	9.10E-14	0.00E+00
	Ortalama	1.90	3.29E-03	3.29E-03	2.30E-03	4.00E-03
	S.S.	0.79	9.27E-03	9.48E-03	7.08E-03	8.49E-03

Tablo 4. 100-Boyutlu f_1 - f_{10} Test Fonksiyonlarına ait Deneysel Sonuçlar

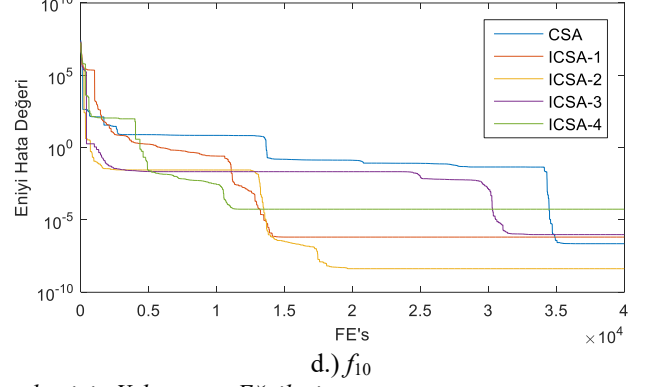
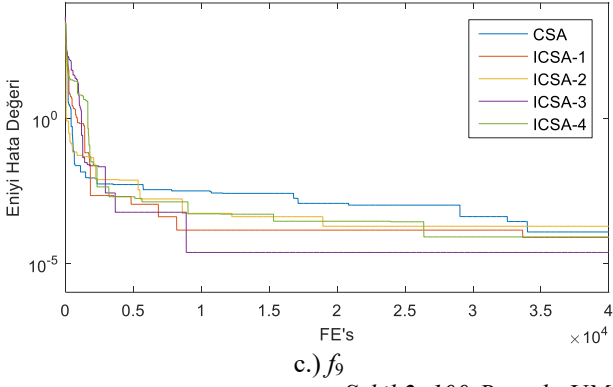
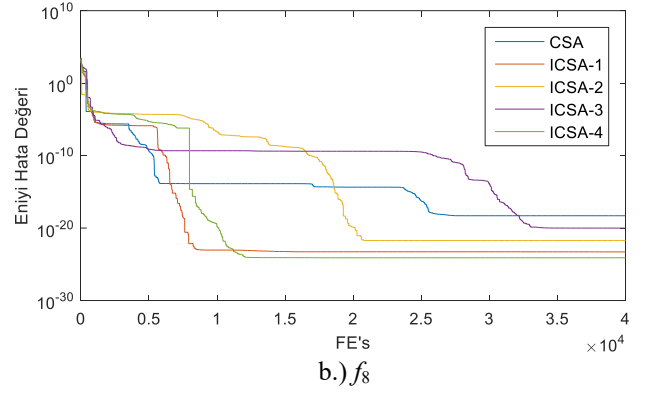
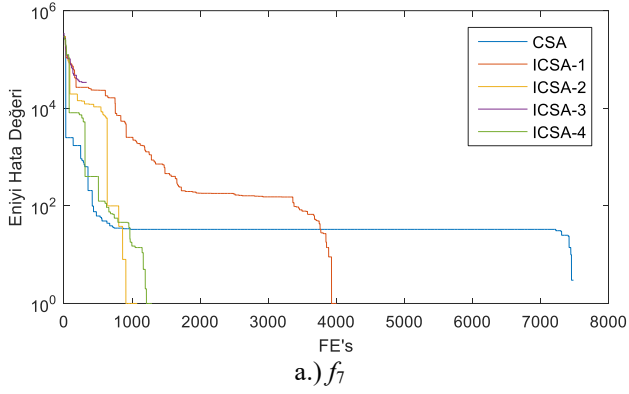
Fonksiyon	İndeks	CSA	ICSA-1	ICSA-2	ICSA-3	ICSA-4
f_1	En iyi	8.62E-05	2.43E-08	1.18E-09	3.68E-11	2.33E-09
	Ortalama	9.43E-03	6.38E-04	1.12E-02	7.17E-03	7.49E-03
	S.S.	1.48E-02	1.24E-03	2.05E-02	9.75E-03	2.05E-02
f_2	En iyi	3.48E-03	1.12E-02	3.48E-10	3.22E-04	4.21E-04
	Ortalama	3.62E+02	5.67E+01	2.25E+01	2.72E+01	6.12E+02
	S.S.	4.85E+02	1.11E+02	3.18E+01	3.54E+01	5.86E+02
f_3	En iyi	8.76E-06	6.60E-08	3.68E-08	9.14E-12	1.42E-11
	Ortalama	1.12E-03	2.15E-03	8.32E-06	2.26E-05	2.48E-06
	S.S.	1.31E-03	2.81E-03	1.23E-05	4.02E-05	3.72E-06
f_4	En iyi	1.27E-03	1.27E-03	1.27E-03	1.27E-03	1.27E-03
	Ortalama	6.65E-02	2.60E-02	1.30E-02	7.59E-03	2.43E-02
	S.S.	1.36E-01	6.08E-02	3.31E-02	1.40E-02	3.54E-02
f_5	En iyi	2.22E-04	1.89E-06	6.00E-03	2.10E-03	3.41E-05
	Ortalama	4.50E-03	1.37E-02	6.56E-02	9.51E-03	2.72E-02
	S.S.	4.94E-03	1.76E-02	6.01E-02	1.31E-02	2.61E-02
f_6	En iyi	1.30E-06	6.07E-04	1.70E-03	1.97E-04	4.72E-07
	Ortalama	6.08E-04	8.29E-03	2.83E-02	2.78E-02	6.21E-03
	S.S.	7.99E-04	6.16E-03	2.98E-02	4.24E-02	6.62E-03
f_7	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
	S.S.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
f_8	En iyi	5.02E-19	5.12E-24	1.89E-22	9.90E-21	7.93E-25
	Ortalama	6.97E-14	1.98E-11	7.26E-13	1.20E-15	6.41E-11
	S.S.	1.36E-13	3.68E-11	1.36E-12	2.14E-15	1.28E-10
f_9	En iyi	1.21E-04	7.85E-05	1.91E-04	2.38E-05	8.20E-05
	Ortalama	3.87E-04	1.81E-03	5.08E-04	3.19E-04	1.94E-03
	S.S.	2.65E-04	1.66E-03	3.63E-04	2.61E-04	1.51E-03
f_{10}	En iyi	2.28E-07	6.53E-07	4.27E-09	9.71E-07	5.54E-05
	Ortalama	2.68E-02	2.80E-04	1.14E-03	5.98E-03	1.57E-03
	S.S.	5.31E-02	4.10E-04	1.72E-03	1.14E-02	1.42E-03

Tablo 5. 100-Boyutlu f_{11} - f_{24} Test Fonksiyonlarına ait Deneysel Sonuçlar

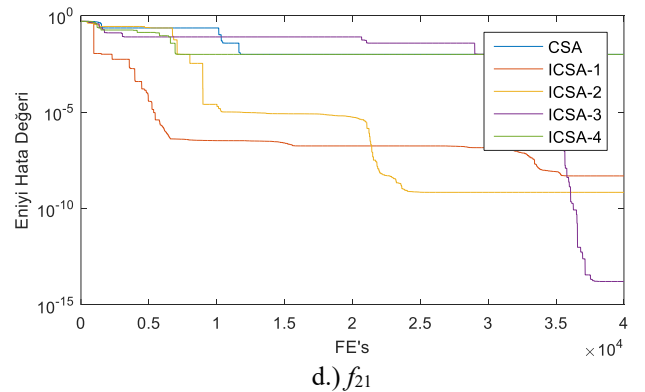
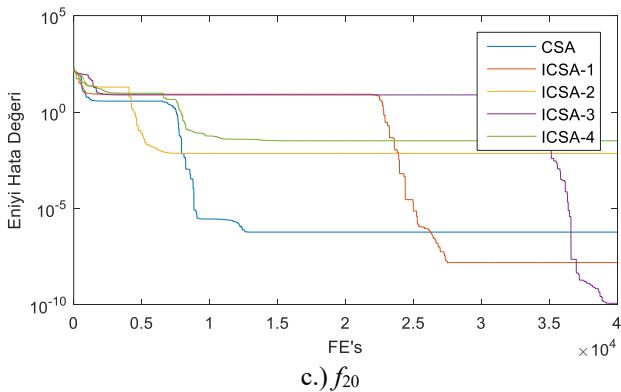
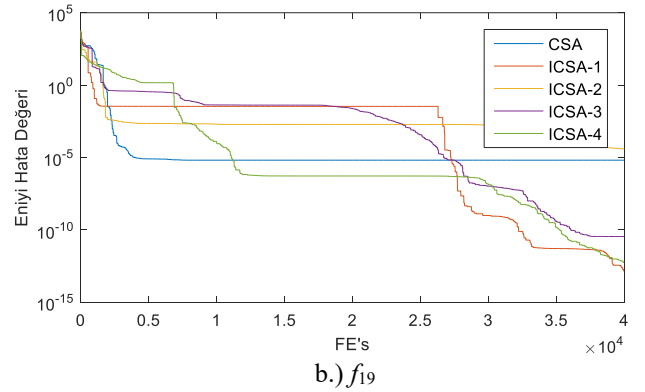
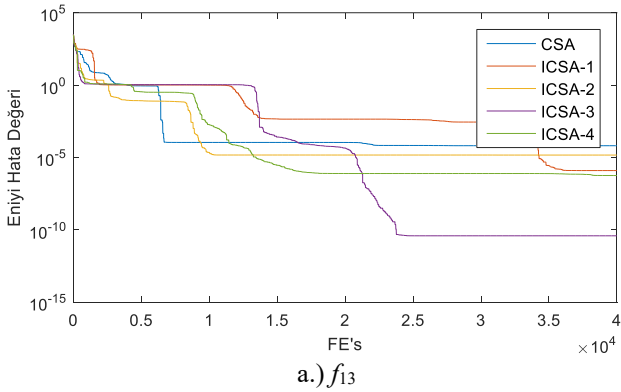
Fonksiyon	İndeks	CSA	ICSA-1	ICSA-2	ICSA-3	ICSA-4
f_{11}	En iyi	1.74E-06	5.98E-07	4.32E-07	1.33E-08	2.53E-06
	Ortalama	7.13E-04	1.97E-03	1.01E-03	5.14E-03	8.45E-04
	S.S.	1.36E-03	2.45E-03	1.27E-03	8.68E-03	8.23E-04
f_{12}	En iyi	1.78E-06	2.66E-04	1.07E-06	3.78E-06	3.16E-08
	Ortalama	2.56E-03	1.37E-02	1.62E-03	4.02E-05	2.10E-04
	S.S.	3.00E-03	2.26E-02	2.94E-03	1.85E-05	3.44E-04
f_{13}	En iyi	6.42E-05	1.22E-06	1.45E-05	3.80E-11	5.58E-07
	Ortalama	1.14E-02	3.73E-04	1.68E-02	2.28E-04	6.21E-04
	S.S.	1.30E-02	7.16E-04	3.31E-02	4.44E-04	7.63E-04
f_{14}	En iyi	1.31E-15	1.23E-13	2.77E-16	3.01E-15	1.51E-15
	Ortalama	1.26E-12	4.91E-12	1.67E-13	1.66E-11	3.53E-10
	S.S.	2.48E-12	7.94E-12	1.48E-13	3.20E-11	7.00E-10
f_{15}	En iyi	1.40E-04	4.51E-06	3.28E-06	1.38E-05	3.21E-04
	Ortalama	1.08E-02	7.51E-03	4.75E-03	4.25E-03	1.34E-02
	S.S.	1.65E-02	1.29E-02	5.32E-03	4.56E-03	1.97E-02
f_{16}	En iyi	4.47E-09	3.93E-11	4.49E-12	4.52E-12	4.77E-13
	Ortalama	4.71E-06	3.55E-06	7.51E-07	1.53E-05	1.65E-05
	S.S.	7.60E-06	5.66E-06	1.46E-06	3.29E-05	3.71E-05
f_{17}	En iyi	3.77E-07	2.38E-12	2.06E-08	2.41E-08	1.70E-10
	Ortalama	4.06E-04	1.70E-05	1.61E-03	4.06E-04	8.80E-04
	S.S.	7.92E-04	2.27E-05	2.21E-03	5.56E-04	1.17E-03
f_{18}	En iyi	1.49E-05	3.96E-07	6.39E-05	4.41E-10	4.82E-05
	Ortalama	3.29E-03	2.97E-04	2.04E-03	1.81E-04	1.33E-03
	S.S.	4.31E-03	2.68E-04	1.07E-03	2.08E-04	1.09E-03
f_{19}	En iyi	6.42E-06	1.41E-13	3.76E-05	3.39E-11	5.46E-13
	Ortalama	1.44E-03	1.11E-03	4.11E-03	5.18E-04	1.62E-04
	S.S.	2.84E-03	9.69E-04	4.86E-03	9.52E-04	3.01E-04
f_{20}	En iyi	5.93E-07	1.56E-08	7.11E-03	1.20E-10	3.22E-02
	Ortalama	6.80E-01	9.79E-01	5.48E-01	1.03E+00	2.35E+00
	S.S.	8.68E-01	1.21E+00	6.54E-01	2.06E+00	2.61E+00
f_{21}	En iyi	9.71E-03	4.87E-09	6.84E-10	4.63E-14	9.71E-03
	Ortalama	3.79E-02	1.88E-02	2.65E-02	1.55E-02	2.62E-02
	S.S.	3.21E-02	1.53E-02	2.22E-02	2.10E-02	1.34E-02
f_{22}	En iyi	-7.83E+01	-7.83E+01	-7.83E+01	-7.83E+01	-7.83E+01
	Ortalama	-7.83E+01	-7.83E+01	-7.83E+01	-7.83E+01	-7.83E+01
	S.S.	3.11E-06	1.05E-06	9.55E-07	7.45E-07	3.71E-05
f_{23}	En iyi	6.91E-16	6.13E-16	7.74E-16	0.00E+00	8.07E-16
	Ortalama	1.06E-15	1.00E-15	1.05E-15	9.01E-16	1.04E-15
	S.S.	2.21E-16	2.18E-16	2.00E-16	4.97E-16	2.67E-16
f_{24}	En iyi	2.49E-01	2.49E-01	2.49E-01	2.49E-01	2.49E-01
	Ortalama	2.90E-01	2.62E-01	2.49E-01	2.50E-01	2.50E-01
	S.S.	8.04E-02	2.58E-02	2.66E-05	2.33E-04	3.13E-04

UM fonksiyonlarda, algoritmanın yakınsama hızı onun global arama kabiliyetini gösterdiği için önemlidir (Yao, Liu ve Lin, 1999). Bu durumu incelemek üzere f_7 - f_{10} fonksiyonlarının yakınsama eğrileri Şekil 2 'de gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde önerilen ICESA algoritmalarının daha düşük FE 's değerlerinde global optimum komşuluklarına yakınsadığı görülmektedir. Bu sonuç, geliştirilen algoritmaların hızlı bir yakınsama oranına sahip olduğu şeklinde yorumlanabilir. Öte yandan, MM fonksiyonlarda boyutun artması lokal optimum sayısını arttıracığından, algoritmaların optimuma takılma

tehlikesi kaçınılmazdır. Bu durumu gözlemlemek için örnek olarak f_{13} , f_{19} , f_{20} ve f_{21} fonksiyonlarına ait yakınsama eğrileri Şekil 3 'de verilmiştir. Bu şekle göre f_{13} fonksiyonunda klasik CSA 'nın lokal optimuma takıldığı ve hata değerinin 6.42E-5 altına düşemediği görülürken, önerilen ICESA-3 'nın 3.80E-11 seviyelerine ulaştığı izlenmektedir. Benzer durum diğer MM fonksiyonlar için de geçerli olup, genel olarak önerilen ICESA 'ların daha düşük değerlere ulaştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 2. 100-Boyutlu UM fonksiyonlar için Yakınsama Eğrileri



Şekil 3. 100-Boyutlu MM Fonksiyonlar için Yakınsama Eğrileri

Algoritmaların performans karşılaştırmasında kullanılan diğer bir araç ise istatistiksel karşılaştırmalardır. Algoritmaların birbirlerine göre üstünlüklerini ya da benzerliklerini belirleyen bu yöntemlerden en yaygın olanlarında biride Wilcoxon testidir. Bu teste göre iki algoritma arasındaki anlamlılık derecesi (significance level) bağımsız parçalara göre belirlenmeye

çalışılır. Buna göre; p -değeri iki metot arasındaki önem derecesinin göstergesidir (Derrac ve ark., 2011).

Bu çalışmada, önerilen ICSA 'lar ve klasik CSA arasındaki karşılaştırmalar için Wilcoxon Signrank testi kullanılmıştır. Signrank testi için 100-boyutlu fonksiyonlardan elde edilen en iyi sonuç değerleri kullanılmıştır. İstatistiksel karşılaştırma

sonuçları Tablo 6 'da verilmiştir. MM fonksiyonlarda, ICSA-1 ve ICSA-3 algoritmaları $\alpha = 0.05$ anlamlılık seviyesine göre klasik CSA 'da önemli bir gelişme sağlamışlardır.

Tablo 6. Wilcoxon Testi p-değer Sonuçları

Karşılaştırma	$f_1 - f_{10}$	$f_{11} - f_{24}$
CSA ile ICSA-1	0.9453	0.0425
CSA ile ICSA-2	0.9800	0.3804
CSA ile ICSA-3	0.7422	0.0161
CSA ile ICSA-4	0.0781	0.7646

5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, yüksek boyutlu problemlerin çözümü için ICSA versiyonları türetilmiştir. Temel CSA 'nın aksine IPOP stratejisi kullanan bu CSA versiyonlarında, popülasyona yeni bireyin eklenmesi hesapsal süreçte genetik çeşitliliğin sürdürülmesine yardımcı olmaktadır. Böylelikle birden fazla lokal optimum içeren MM problemlerin çözümünde daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Geliştirilen metotların performansı yüksek boyutlu test fonksiyonlarında izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen metotların CSA 'nın erken yakınsama problemini iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca geliştirilen ICSA 'ların MM fonksiyonlarda genetik çeşitliliği zenginleştirdiği ve bunun sonucunda da çoğu durumda lokal optimumlardan kaçabildiği görülmüştür. Gelecek çalışmalarda geliştirilen metotların gerçek-dünya problemlerine uygulanması ve IPOP stratejisinin diğer meta-sezgisellere uyarlanması hedeflenmektedir.

Kaynakça

Abdollahi, M., Bouyer, A. & Abdollahi, D. (2016). Improved cuckoo optimization algorithm for solving systems of nonlinear equations. *The Journal of Supercomputing*, 72, 1246-1269.

Askarzadeh, A (2016). A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: crow search algorithm. *Computer & Structures*, 169, 1-12.

Aydın, D. & Özyön, S. (2013). Incremental artificial bee colony with local search to economic dispatch problem with ramp rate limits and prohibited operating zones. *Energy Conversion and Management*, 65, 397-407.

Aydın, D., Yavuz, G. & Stützle, T. (2017). ABC-X: a generalized, automatically configurable artificial bee colony framework. *Swarm Intelligence*, 11(1), 1-38.

Derrac, J., García, S., Molina, D., & Herrera, F. (2011). A practical tutorial on the use of nonparametric statistical tests as a methodology for comparing evolutionary and swarm intelligence algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(1), 3-18.

Dorigo, M. & Di Caro, G. (1999). *The ant colony optimization metaheuristic, new ideas in optimization*. McGraw-Hill, New York, pp 11-32.

Gao, W. & Liu, S. (2011). Improved artificial bee colony algorithm for global optimization. *Information Processing Letters*, 111(17), 871-882.

Karaboğa, D. & Baştürk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee

colony (ABC) algorithm. *Journal Global Optimization*, 39(3), 459-471.

Kaur, G. & Arora, S. (2018). Chaotic whale optimization algorithm. *Journal of Computational Design and Engineering*, 5(3), 275-284.

Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In 1995 IEEE International Conference on Neural Networks, 4, 1942-1948.

Li, S. Y., Wang, S. M., Wang, P. F., Su, X. L., Zhang, X. S. & Dong, Z. H. (2018). An improved grey wolf optimizer algorithm for the inversion of geoelectrical data. *Acta Geophysica*, 66, 607-621.

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advance Engineering Software*, 69, 46-61.

Mirjalili, S. & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advance Engineering Software*, 95, 51-67.

Montes de Oca, M. A. & Stützle, T. (2008, July). Towards incremental social learning in optimization and multiagent systems. In 10th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO'08), New York, 1939-1944.

Özyön, S., Yaşar, C. & Temurtaş, H. (2019). Incremental gravitational search algorithm for high-dimensional benchmark functions. *Neural Computing and Applications*, 31, 3779-3803.

Özyön, S. (2020). Yenilenebilir enerji üretim birimleri içeren çevresel-ekonomik güç dağıtım probleminin yüklü sistem arama algoritması ile çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 81-90.

Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied Soft Computing*, 11, 5508-5518.

Sahoo, A. & Chandra, S. (2017). Multi-objective grey wolf optimizer for improved cervix lesion classification. *Applied Soft Computing*, 52, 64-80.

Saidala, R. K. & Devarakonda, N. (2018). Improved whale optimization algorithm case study: clinical data of anaemic pregnant woman. *Data Engineering and Intelligent Computing*, 542, 271-281.

Xu, X., Rong, H. & Trovati, M. (2018). CS-PSO: chaotic particle swarm optimization algorithm for solving combinatorial optimization problems. *Soft Computing*, 22(3), 783-795.

Yang, J. & Zhuang, Y. (2010). An improved ant colony optimization algorithm for solving a complex combinatorial optimization problem. *Applied Soft Computing*, 10(2), 653-660.

Yao, X., Liu, Y. & Lin, G. (1999). Evolutionary programming made faster. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, 3(2), 82-102.

Yavuz, G. (2021). 100 Basamak probleminin JADE algoritması ile çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21, 493-500.

Yu, W., Li, X., Cai, H., Zeng, Z. & Li, X. (2018). An improved artificial bee colony algorithm based on factor library and dynamic search balance. *Mathematical Problems in Engineering*, 3102628, 1-16.

Zhang, Q. & Zhang, C. (2018). An improved ant colony optimization algorithm with strengthened pheromone updating mechanism for constraint satisfaction problem. *Neural Computing and Applications*, 30, 3209-3220.



Zayıf Elektrik Balıklarında Duyumotor Kontrolcü ve Hareket Dinamiklerinin Alt Uzay Tabanlı Sistem Tanılaması

İsmail Uyanık^{1*}

^{1*} Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3535-5616), uyanik@ee.hacettepe.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 5 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.937828)

ATIF/REFERENCE: Uyanık, İ. (2021). Zayıf Elektrik Balıklarında Duyumotor Kontrolcü ve Hareket Dinamiklerinin Alt Uzay Tabanlı Sistem Tanılaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 623-628.

Öz

Canlılarda duyuşsal ve motor sistemleri arasında muhteşem bir dinamik kapalı döngü etkileşim vardır. Davranışsal bir görev sırasında merkezi sinir sistemi çevreden gelen duyuşsal sinyalleri algılar ve belirli motor sinyalleri üretir. Ortaya çıkan bu motor sinyalleri ise iskelet ve kas sistemlerini tetikleyerek hareketi oluştururlar. Bu kapalı döngü sistemde merkezi sinir sistemi bir nevi 'kontrolcü', iskelet ve kas sistemleri ise bir nevi 'plant' olarak düşünülebilir. Bu çalışmanın amacı davranışsal görevler esnasında merkezi sinir sistemi tarafından uygulanan duyumotor kontrolcü ve gerçekleştirilen hareket dinamiklerinin sistem tanılamasını yapmaktır. Bu amaçla zayıf elektrik balıklarının sığınak takibi davranışı sırasında toplanmış bir veri kümesinden faydalanılarak bu balıkların takip davranışı esnasında uyguladıkları kontrolcü ve yüzme dinamikleri elde edilmiştir. Ortaya çıkan sistem modelini kontrol teorisi alanına taşıyabilmek adına alt uzay tabanlı sistem tanılama kullanılmıştır. Böylece hem duyumotor kontrolcü hem de hareket dinamikleri için durum uzay matrisleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Duyumotor kontrol, Sistem tanılama, Zayıf elektrik balıkları, Alt uzay tanılama.

Subspace-Based System Identification of Sensorimotor Control and Locomotor Dynamics of Weakly Electric Fish

Abstract

There is a fascinating dynamic closed-loop interaction between the sensory and motor systems in animals. During behavioral tasks, the central nervous system perceives the sensory signals from the environment and generates associated motor commands. Subsequently, these motor signals stimulate the musculoskeletal system to initiate movement. In this closed-loop interaction, the central nervous system plays the role of a 'controller', while the musculoskeletal system becomes the 'plant'. The goal of this paper is to identify the sensorimotor controller and the locomotor dynamics adopted by animals during behavioral task control. To achieve this, we identified the sensorimotor controller and the locomotor dynamics of weakly electric fish during refuge tracking behavior. We used subspace identification to convey the estimated model to the control theory domain. Thus, we obtained a state-space representation both for the sensorimotor controller and the locomotor dynamics of the fish.

Keywords: Sensorimotor control, System identification, Weakly electric fish, Subspace identification.

* Sorumlu Yazar: uyanik@ee.hacettepe.edu.tr

1. Giriş

Canlıların davranışsal görevler sırasındaki performansları duyumotor kontrolcülere ve görev tabanlı sistem dinamiklerinin karşılıklı etkileşimi ile belirlenmektedir. Burada duyumotor kontrolcülere duyusal sistemleri ve bu sistemlerden gelen sinyalleri işleyerek hareket komutlarını oluşturan motor sinirlerini içermektedir (Cowan & Fortune, 2007; Kiemel vd., 2011). Sistem dinamikleri ise hareketi gerçekleştirebilmek amacıyla çevreyle etkileşim kuran iskelet ve kas sistemlerinden meydana gelmektedir (Hedrick & Robinson, 2010; Maladen vd., 2009). Amacımız canlıların serbest ve kısıtlanmamış davranışları esnasında uyguladıkları duyumotor kontrolcülerin ve gerçekleştirdikleri sistem dinamiklerinin alt uzay tabanlı sistem tanılamasını yapabilmektir.

Canlılarda duyumotor kontrolcülere ve hareket dinamiklerinin birbirinden ayrıştırılarak sistem tanılamasının yapılabilmesi oldukça güçtür. Bunun en önemli nedenlerinden birisi duyumotor kontrolcülere ile hareket dinamiklerinin kapalı döngü bir kontrol sistemi içerisinde çalışıyor olmasıdır (Şekil 1A). Davranışsal canlı deneylerinde her ne kadar bir uyarıcı girdi sinyaline (Şekil 1A'daki $r(t)$) karşılık canlının davranışsal cevabı (Şekil 1A'daki $y(t)$) ölçülebilse de kontrolcülere çıktısının (Şekil 1A'daki $u(t)$) bir ölçümü yapılmadan duyumotor kontrolcülere ve hareket dinamiklerinin birbirinden bağımsız olarak sistem tanılamasının yapılabilmesi mümkün değildir.

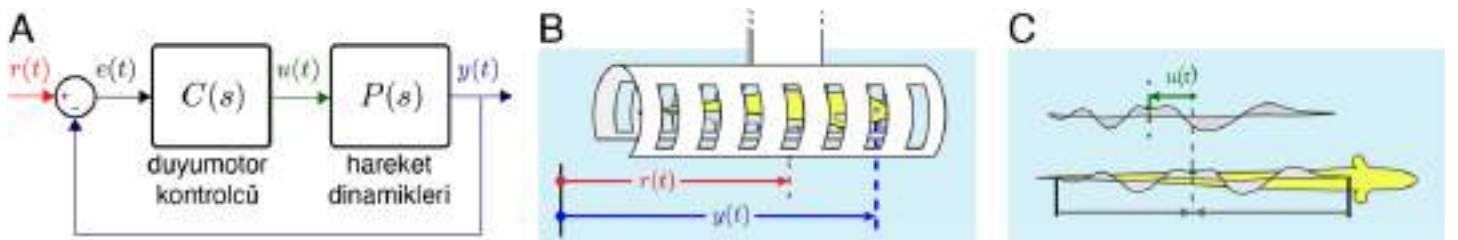
Bir başka önemli problem ise biyolojik sistemlerde duyumotor kontrolcülere ve hareket sistemi arasındaki ayırımı noktasının net bir şekilde tanımlanamamasıdır. Bu bağlamda literatürde elektromiyogram (EMG), elektroensefalogram (EEG) ve fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) verileri sıklıkla duyumotor kontrolcülere çıktısının bir yakınsaması olarak kullanılmaktadır (van der Kooij & Peterka, 2011; Fifer vd., 2013). Ancak bu sinyallerin kullanımıyla ilgili temel problemlerden birisi birbiriyle doğrusal olmayan şekillerde etkileşim gösteren farklı kas ve sinir gruplarının koordinasyonunun anlaşılmasını gerektirmesidir (Ting & Macpherson, 2005). Bu durum duyumotor kontrolcülere ve hareket dinamiklerinin kestirilmesinde kullanılacak sistem tanılama sürecini oldukça zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada *Eigenmannia virescens* türünden zayıf elektrik balıklarının sığınak takibi davranışı sırasında elde edilmiş kinematik verileri kullanarak balığın benimsediği duyumotor kontrolcülere yapısının ve gerçekleştirdiği hareket dinamiklerinin veri güdümlü sistem tanılaması yapılacaktır (Şekil 1B). Bu balıklar doğal sığınma iç güdülerini nedeniyle çevrelerinde bulunan ağaç kovuğu ve kayalıklar gibi alanların içine girerek saklanmayı tercih ederler. Bununla birlikte eşsiz hareket kabiliyetleri sayesinde gerektiğinde ileri ve geri yüzerek

içlerinde saklandıkları sığınak alanların hareketini hassas bir şekilde takip edebilirler (Cowan & Fortune, 2007; Uyanık vd., 2019). Bu amaçla evrimsel süreçte geliştirdikleri ve vücutlarının tüm alt yüzeyini kapsayan anal yüzgeçlerinden faydalanırlar (Sefati vd., 2013; Uyanık vd., 2020a). Bu balıklar vücutları boyunca uzanan anal yüzgeçlerinin iki ucundan birbirine doğru hareket eden dalgalar oluşturarak tek eksende ileri ve geri itki kuvveti uygulayabilirler (Şekil 1C). Bu özellikleri sayesinde *Eigenmannia virescens* birçok diğer balık türünden farklı olarak tek eksende ileri ve geri yüzebilir. Böylece tek eksende ileri geri hareket eden bir sığınma hareketlerini hassas bir şekilde takip edebilirler (Sefati vd., 2013; Uyanık vd., 2020a). Balıkların serbest bir şekilde tek eksende gerçekleştirdikleri bu takip davranışı sistem tanılama tekniklerinin uygulanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Daha önceki çalışmalarımızda bu balıkların anal yüzgeçlerinde meydana getirdikleri ve karşılıklı hareket eden dalgaların kesiştiği noktanın ('düğüm' noktası) duyumotor kontrolcülere çıktısının bir yakınsaması olarak kullanılabileceğini göstermiştik (Uyanık vd., 2020a). Bu bağlamda farklı frekanslardaki sığınak hareketlerine karşılık, balığın anal yüzgeçlerinde meydana gelen düğüm noktasının ve konumunun takibini içeren kapsamlı bir veri kümesi yayınlanmıştır (Uyanık vd., 2020b). Daha önceki çalışmamızda bu veri kümesi kullanılarak balığın kapalı döngü takip davranışının, $G(s)$, ve hareket dinamiklerinin, $P(s)$, frekans cevapları ve parametrik transfer fonksiyonları kestirilmiştir. Ancak duyumotor kontrolcülere yapısı teorik hesaplamaya dayalı olarak $G(s)$ ve $P(s)$ değerleri üzerinden elde edilmiştir. Bu durum duyumotor kontrolcülere kestirimlerinin, $C(s)$, balık dinamiklerine aşırı hassasiyet göstermesine neden olmaktadır. Doğru bir duyumotor kontrolcülere kestirimi ancak duyumotor kontrol sisteminin girdisi olan duyusal hata sinyali, $e(t)$, ve duyumotor kontrol sisteminin çıktısının bir yakınsaması olan düğüm noktası sinyali, $u(t)$, kullanılarak mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada öncelikle veri güdümlü sistem tanılama tekniklerinden yararlanarak balıkların sığınak takibi davranışı sırasında uyguladıkları duyumotor kontrolcülere ve hareket dinamiklerinin alt uzay tabanlı sistem tanılamasını yapacağız. Literatürdeki tekniklerden farklı olarak alt uzay tabanlı sistem tanılama bize düşük dereceli durum uzay gösterimlerinin elde edilebilmesini sağlayacaktır. Duyumotor kontrolcülere ve hareket dinamiklerinin durum uzay gösterimlerinin elde edilebilmesi, biyolojik kontrol sistemlerinde incelenecek problemleri kontrol teorisi düzlemine taşıyarak kontrol teorisi literatüründe var olan analiz ve yöntemlerin uygulanabilmesinin önünü açacaktır. Ayrıca, özellikle hareket dinamikleri için elde ettiğimiz sonuçlar alt uzay tabanlı sistem tanılama tekniklerinin farklı parametrik modeller ile karşılaştırıldığında oldukça iyi sonuçlar verdiğini de göstermektedir.



Şekil 1. (A) *Eigenmannia virescens* balığı için sığınak takibi davranışının öngörülen kapalı döngü geri beslemeli kontrol modeli. (B) Balığın sığınak takibi davranışı esnasındaki hareketlerinin bir canlandırması. (C) Balığın anal yüzgecini kullanarak düğüm noktası konumunu kontrol etmesi ve ileri/geri yönde itki uygulaması

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Kümesi

Bu çalışmada daha önce yazarlar tarafından toplanmış ve açık kaynak olarak paylaşılmış bir veri kümesinden yararlanılmıştır (Uyanık vd., 2020b). Bu veri kümesinin konusu olan tüm deneysel çalışmalar Johns Hopkins Üniversitesi Hayvan Deneyleri Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır.

Deneylerde *Eigenmannia virescens* türünden üç zayıf elektrik balığının sığınak takibi davranışı sırasındaki davranışsal cevapları incelenmiştir. Balıklar deney öncesinde yaklaşık 27°C sıcaklıkta ve 50 – 200 μS iletkenlikte su içerisinde barındırılmıştır. Her balık ortama alışabilmeleri amacıyla en az 1 gün öncesinden deney akvaryumuna taşınmıştır.

Deney akvaryumu içerisinde balıkların içerisinde saklanabilmesi amacıyla 15 cm uzunluğunda ve ~5cm çapında PVC borudan yapılmış bir sığınak yer almaktadır. Bu sığınakın alt kısmı görüntü alınabilmesi amacıyla kesilmiş ve yan duvarlarında küçük pencereler açılmıştır (Şekil 1B). Deneyler sırasında bu sığınak bir adım motoru aracılığıyla tek eksenli ileri/geri hareket ettirilebilmektedir. Bu hareketlere karşılık balığın gerçekleştirdiği sığınak takibi davranışı 1280 x 1024 çözünürlükte bir kamera ile 30 fps’de kaydedilmiştir. Kaydedilen görüntüler daha sonra şablon eşleştirme (template matching) tabanlı bir görüntü işleme yazılımı kullanılarak analiz edilmiş böylece zamana bağlı sığınak ve balık hareketleri elde edilmiştir.

Sığınak hareketleri 0.1 cm genişliğinde ve 0.55, 0.95 ve 2.05 Hz frekanslarında sinüzoidal sinyallerden meydana gelmektedir. Sinyal genliği balığın anal yüzgecinde birbirlerine doğru hareket eden dalgalar oluşturmak suretiyle sığınak takibi davranışını gerçekleştireceği şekilde belirlenmiştir. Aynı şekilde frekanslar da balığın sığınak takibi davranışını doğrusal olarak gerçekleştirebildiği bir aralıktan seçilmiştir (Roth vd., 2011). Her frekans için 10 – 13 tekrar yapılmıştır. Bu tekrarlar sistem tanılama aşamasında deneyler arası değişkenliğin gözlemlenebilmesine fayda sağlayabileceği gibi ortalamaları alınması durumunda balığın zamandan bağımsız cevabının bir yakınsamasının elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

2.2. Alt Uzay Tabanlı Sistem Tanılama

Bu çalışmada alt uzay tabanlı sistem tanılama tekniklerinden faydalanarak zayıf elektrik balıklarının duyumotor kontrolcü ve hareket dinamiklerinin durum-uzay matrislerinin kestirimini yapacağız. Bu bağlamda giriş—çıkış verilerinden yararlanarak bu alt sistemler için aşağıdaki formda tek giriş tek çıkışlı bir sistem yaklaşımı elde edilecektir:

$$\begin{aligned} \dot{\bar{x}}(t) &= \bar{A}\bar{x}(t) + \bar{B}u(t) \\ \bar{y}(t) &= \bar{C}\bar{x}(t) + \bar{D}\bar{u}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Burada $\bar{u}(t) \in \mathbb{R}$, $\bar{y}(t) \in \mathbb{R}$, $\bar{x}(t) \in \mathbb{R}^n$, $\bar{A} \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $\bar{B} \in \mathbb{R}^n$, $\bar{C} \in \mathbb{R}^{1 \times n}$ ve $\bar{D} \in \mathbb{R}$. Bu çalışmada literatürde de sıklıkla kullanılan ve alternatiflerine göre ön plana çıkan başarımlı özellikleri nedeniyle CVA (canonical variate analysis) algoritması tercih edilmiştir (Favoreel vd., 1999). Bu algoritmanın çalışma prensipleriyle ilgili detaylar (Larimore, 1990)’te bulunmaktadır. Ancak çalışmamızın bütünlüğü ve uygulanan giriş sinyallerinin niteliğine özgü bir anlatım bakımından kullanılan algoritma kısaca özetlenmektedir.

Denklem (1)’de gösterilen sistem öncelikle bilinear (Tustin) dönüşüm ve verinin örnekleme frekansı kullanılarak ayrık zamanlı bir forma getirilir:

$$\begin{aligned} x[k+1] &= Ax[k] + Bu[k] \\ y[k] &= Cx[k] + Du[k] \end{aligned} \quad (2)$$

Frekans düzlemine geçildiğinde bu denklem aşağıdaki formu almaktadır:

$$\begin{aligned} e^{j\omega} X(\omega) &= AX(\omega) + BU(\omega) \\ Y(\omega) &= CX(\omega) + DU(\omega) \end{aligned} \quad (3)$$

Çalışmamızda kullanılan verilerde uyaran sinyal olarak sabit frekanslı sinüzoidal sinyaller kullanılmıştır. Frekans düzleminde bu sinyaller negatif ve pozitif frekans değerlerinde birer impuls (dürtü) olarak gözlenmektedir. Zaman düzlemindeki gerçek değerli sinyaller frekans düzleminde karmaşık eşlenik yapıda olacağı için çalışmamızda pozitif frekanslardaki impuls değerleri kullanılacaktır. Bu bağlamda zaman düzlemindeki giriş sinyali $u[k] = e^{j\omega k}$ olarak düşünüldüğünde, frekans düzlemindeki karşılığı şu şekilde yazılabilir:

$$U(\omega) = [0 \ \dots \ 0 \ 1 \ 0 \ \dots \ 0]^T.$$

Bu durumda (3) numaralı denklem aşağıdaki formda yazılabilir:

$$\begin{aligned} e^{j\omega} X(\omega) &= AX(\omega) + B \\ G(e^{j\omega}) &= CX(\omega) + D \end{aligned} \quad (4)$$

Burada $G(e^{j\omega})$ sistemin impuls cevabı olarak düşünülebilir. Üstteki denklem durum değişimlerini, alttaki denklem ise çıkış sinyalinin ifade etmektedir. Bu noktada çıkış sinyali yinelemeli olarak $e^{j\omega}$ ile çarpıldığında her tekrarda $e^{j\omega} X(\omega)$ değeri durum değişim denkleminde yerine konularak iki denklem istendiği kadar birleştirilebilir. Bu işlem q kez tekrarlandığında aşağıdaki Hankel veri matrisi denklemini elde edilir:

$$\begin{aligned} \underbrace{\begin{bmatrix} G(e^{j\omega}) \\ G(e^{j\omega})e^{j\omega} \\ \vdots \\ G(e^{j\omega})e^{j(q-1)\omega} \end{bmatrix}}_{G_\omega} &= \underbrace{\begin{bmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{q-1} \end{bmatrix}}_Q X(\omega) \quad (5) \\ &+ \underbrace{\begin{bmatrix} D & 0 & \dots & 0 \\ CB & D & 0 & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ CA^{q-2}B & CA^{q-3}B & \dots & D \end{bmatrix}}_r \underbrace{\begin{bmatrix} I \\ e^{j\omega}I \\ \vdots \\ e^{j(q-1)\omega}I \end{bmatrix}}_{U_\omega} \end{aligned}$$

Frekans düzleminde çalışmanın en önemli avantajlarından birisi olarak farklı frekanslarda elde edilen veriler Hankel matrisleri denkleminin yapısını değiştirmeden sadece G_ω , $X(\omega)$, ve U_ω matrislerine her frekans için yeni sütun ekleyerek birleştirilebilir. Birden fazla frekanstaki deney verilerini içeren yeni yapı şu şekilde gösterilebilir:

$$G = QX + \Gamma U$$

Bu denklemde U ve G matrisleri ölçülebilen giriş ve çıkış sinyalleri kümelerine karşılık gelmektedir. Bu denklemin giriş matrisine dik olan bir alt uzay kümesine, U^\perp , izdüşümü alındığında

$$GU^\perp = QXU^\perp + \overbrace{\Gamma U^\perp}^0$$

elde edilir. Giriş matrisinin kendine dik bir alt uzaya düşümü sıfırdır. Eşitliğin sol tarafında kalan kısım ölçülebilen giriş ve

Elde edilen sistemin başarımını değerlendirebilmek adına literatürde balıkların hareket dinamiklerini ifade edebilmek amacıyla kullanılmış (Sefati vd., 2013; Uyanık vd., 2020a) iki parametrik sistemi modeli için de sistem tanılama yapılmıştır:

$$P_2(s) = \frac{4.04}{0.1s^2 + s}$$

$$P_3(s) = \frac{3.97s + 3.46}{s^2 + 0.23s + 2.02}$$

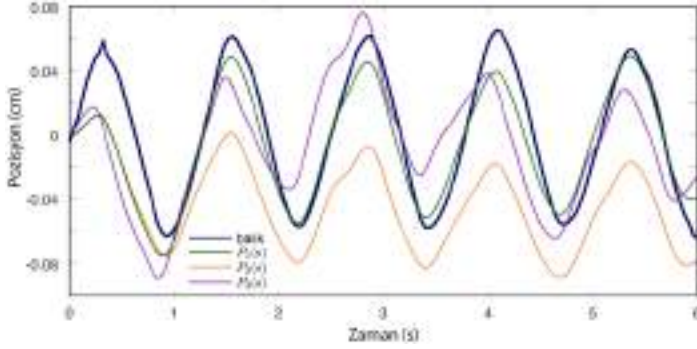
Bu üç model için tüm veriler üzerindeki kök ortalama kare hata (RMSE) değerleri aşağıdaki gibidir:

$$P_1(s) : 0.0179$$

$$P_2(s) : 0.0487$$

$$P_3(s) : 0.0318$$

Ayrıca bu üç modelin örnek bir düğüm noktası sinyali için balık hareketlerini kestirim performansı Şekil 4'te verilmiştir. Tüm bu verilerden görüleceği üzere alt uzay sistem tanılama modeli literatürdeki örneklerle nazaran oldukça başarılı kestirim sonuçları sunmaktadır. Ayrıca durum uzay gösteriminin elde edilmesi birçok kontrol teorisi yönteminin kestirilen sistem üzerinde uygulanabilmesine olanak sağlayacaktır.



Şekil 4. Farklı sistem tanılama modellerinin örnek bir balık hareketi üzerinde kestirim performanslarının karşılaştırılması

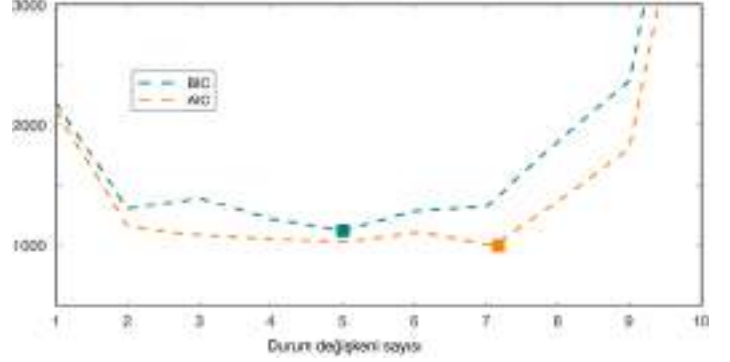
3.2. Duyumotor Kontrolcü Dinamiklerinin Sistem Tanılaması

Bu bölümde balıkların sığınak takibi davranışı sırasında uyguladıkları duyumotor kontrolcünün sistem tanılaması yapılacaktır. Sonuçları sunmadan önce bir noktanın tekrar ve net olarak ifade edilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada gerçekleştirilen veri güdümlü sistem tanılama spesifik olarak balığın sığınak takibi davranışı sırasında uyguladığı duyumotor kontrolcüyü ortaya çıkaracaktır. Nitekim bu kontrol algoritması farklı davranışlar için dramatik değişiklikler gösterebilir.

Bu kısımda da yine bölüm 2.2'de detayları verilen veri güdümlü alt uzay sistem tanılama yöntemi kullanılmıştır. Ancak bu bölümde giriş sinyali olarak Şekil 1(A)'da gösterilen ve duyumotor kontrolcü bloğuna giren duyuşal fark, $e(t) := r(t) - y(t)$, sinyali kullanılacaktır. Tanımdan da anlaşılacağı üzere duyuşal fark sinyali sığınak hareketi ile balığın kendi hareketleri arasındaki farka karşılık gelmektedir. Zira balık sığınak içinde takip hareketini gerçekleştirirken sığınak ve kendisinin global pozisyonlarını değil aradaki farkı algılayabilmektedir (Cowan & Fortune, 2007).

Öncelikle sistem boyutunun belirlenebilmesi adına farklı durum değişkeni sayıları için AIC ve BIC değişim grafiği elde edilmiştir. Şekil 5'te görüleceği üzere hem AIC hem de BIC için

durum değişkeni sayısının 2-7 arasındaki değişimi en düşük değerleri vermektedir. Bu bağlamda yine en sade çözümü kullanmak adına sistem boyutu 2 olarak belirlenmiştir. Burada önemli olan bir nokta aynı kapalı döngü kontrol sistemi içerisinde çalışan duyumotor kontrolcü ve hareket dinamikleri için farklı durum değişkeni sayısı kullanılmış olmasıdır. Bu durum teorik olarak hiçbir sorun addetmemektedir.



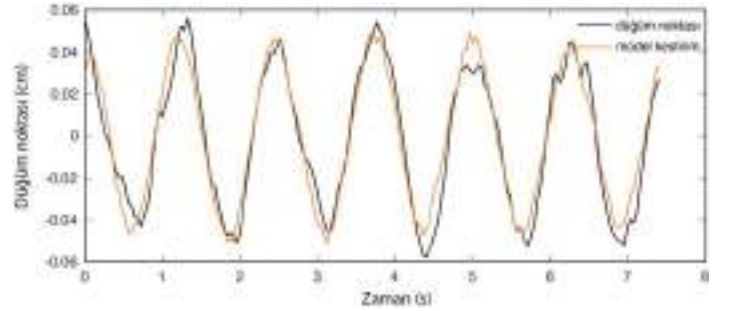
Şekil 5. Duyumotor kontrolcü için AIC ve BIC değerlerinin durum değişkeni sayısına göre değişimi

Durum değişkeni sayısı 2 için duyumotor kontrolcünün denklem (1) formatında elde edilen durum uzay gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$A = \begin{bmatrix} -8.86 & -33.79 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$C = \begin{bmatrix} 2.19 & -9.48 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0.27 \end{bmatrix}$$

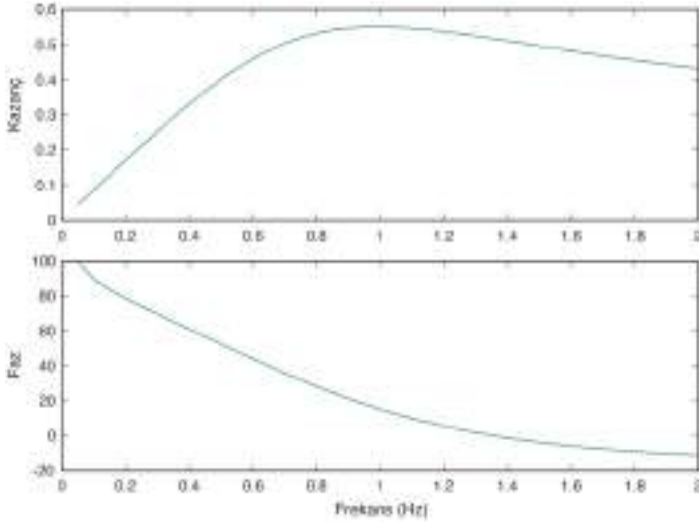
Elde edilen durum uzay gösteriminin düğüm noktası üzerindeki kestirim performansı Şekil 6'da örnek bir sinyal üzerinde gösterilmektedir. Görüldüğü üzere duyuşal fark sinyalinden düğüm noktasının hareketine tanımlanan duyumotor kontrolcü davranışı ikinci derece bir durum uzay gösterimi ile başarılı bir şekilde ifade edilebilmektedir.



Şekil 6. Tanımlanan sistem modelinin gerçek balık verisi üzerinde düğüm noktası kestirimi

Literatürde zayıf elektrik balıklarında sığınak takibi davranışı sırasındaki duyumotor kontrolcü yapısıyla ilgili olarak karşılaştırma sağlanacak bir örnek bulunamamıştır. Ancak daha önceki çalışmalar bize bu balıklarda takip davranışı sırasında uygulanan duyumotor kontrolcülerin yüksek frekans geçiren filtre karakteristikleri gösterdiklerini söylemektedir (Uyanık vd., 2020a). Bu nedenle biz de alt uzay sistem tanılama yöntemiyle elde ettiğimiz durum uzay gösteriminin frekans cevabını inceleyerek literatürde yer alan bu bulguları test ettik.

Şekil 7 tanımlanan sistem modelinin uyarın frekans bandındaki frekans cevabını göstermektedir. Görüldüğü üzere sığınak takibi davranışı sırasında uygulanan duyumotor kontrolcü yüksek frekans geçiren filtre karakteristiklerine sahiptir. Bu da alt uzay sistem tanılama yöntemiyle elde edilen sonuçların literatürle eşleştiğini göstermektedir.



Şekil 7. Tanılanan modelin frekans cevabı

4. Sonuç

Bu çalışmada zayıf elektrik balıklarının sığınak takibi davranışı sırasında uyguladıkları duyumotor kontrolcü ve hareket dinamiklerinin sistem tanılması yapılmıştır. Bu bağlamda daha önce bu balıklarla toplanmış bir veri kümesinden faydalanılmıştır. Elde edilen veriler üzerinde alt uzay tabanlı sistem tanılama teknikleri kullanılarak hem duyumotor kontrolcü hem de hareket dinamikleri için durum uzay matrislerinin kestirimi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kestirilen sistem modellerinin veriyi başarılı bir şekilde ifade ettiğini ortaya koymaktadır.

Ortaya çıkan önemli sonuçlardan birisi aslında hem duyumotor kontrolcü hem de hareket dinamiklerinin oldukça düşük boyutlu doğrusal sistemlerle ifade edilebiliyor olmasıdır. Duyumotor kontrol yapısı her ne kadar karmaşık ve doğrusal olmayan bir sistem olsa da spesifik bir davranış esnasında gerçekleştirilen kontrolcü yapısının oldukça basit sistem modelleriyle ifade edilebildiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada tartışılması gereken en önemli noktalardan birisi ise kapalı döngü bir kontrol sistemi içerisindeki alt sistem bloklarının giriş—çıkış sinyalleri yardımıyla açık döngü bir biçimde tanılanmış olmasıdır. Bu tip sistem tanılama problemlerinde ortaya çıkabilecek en önemli handikaplardan birisi giriş—çıkış sinyalleri ile kestirilecek modelin hedeflenen alt bloğu mu yoksa bu bloğun kapalı döngü kontrol sistemindeki tamamlayıcı kısmını mı ifade ettiğinin bilinmemesidir. Bu çalışmada elde edilen modeller literatürde daha önce ilgili birimler için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak hedeflenen alt blokların sistem tanılamasının yapıldığı doğrulanmıştır. Bu problemin kalıcı çözümü ortak giriş çıkış sistem tanılama yöntemleriyle mümkündür. Ancak ne yazık ki bu çalışmada kullanılan veri kümesi bu yöntemlerin uygulanması için yeterli içeriğe sahip değildir.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 120E198 numaralı proje kapsamında desteklenmektedir.

Kaynakça

- Cowan, N. J., & Fortune, E. S. (2007). The critical role of locomotion mechanics in decoding sensory systems. *Journal of neuroscience*, 27(5), 1123-1128.
- Favoreel, W., Van Huffel, S., De Moor, B., Sima, V., & Verhaegen, M. (1999). Comparative study between three subspace identification algorithms. In *European Control Conference (ECC)*, pp. 821-826. IEEE.
- Fifer, M. S. vd. (2013). Simultaneous neural control of simple reaching and grasping with the modular prosthetic limb using intracranial EEG. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 22(3), 695-705.
- Hedrick, T. L., & Robinson, A. K. (2010). Within-wingbeat damping: dynamics of continuous free-flight yaw turns in *Manduca sexta*. *Biology letters*, 6(3), 422-425.
- Kiemel, T., Zhang, Y., & Jeka, J. J. (2011). Identification of neural feedback for upright stance in humans: stabilization rather than sway minimization. *Journal of neuroscience*, 31(42), 15144-15153.
- Larimore, W. E. (1990). Canonical variate analysis in identification, filtering, and adaptive control. In *29th IEEE Conference on Decision and control* (pp. 596-604).
- Maladen, R. D., Ding, Y., Li, C., & Goldman, D. I. (2009). Undulatory swimming in sand: subsurface locomotion of the sandfish lizard. *Science*, 325(5938), 314-318.
- Roth, E., Zhuang, K., Stamper, S. A., Fortune, E. S., & Cowan, N. J. (2011). Stimulus predictability mediates a switch in locomotor smooth pursuit performance for *Eigenmannia virescens*. *Journal of experimental biology*, 214(7), 1170-1180.
- Sefati, S., Neveln, I. D., Roth, E., Mitchell, T. R., Snyder, J. B., MacIver, M. A., ... & Cowan, N. J. (2013). Mutually opposing forces during locomotion can eliminate the tradeoff between maneuverability and stability. *Proceedings of the national academy of sciences*, 110(47), 18798-18803.
- Ting, L. H., & Macpherson, J. M. (2005). A limited set of muscle synergies for force control during a postural task. *Journal of neurophysiology*, 93(1), 609-613.
- Uyanik, I., Stamper, S. A., Cowan, N. J., & Fortune, E. S. (2019). Sensory cues modulate smooth pursuit and active sensing movements. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 13, 59.
- Uyanik, I., Sefati, S., Stamper, S. A., Cho, K. A., Ankarali, M. M., Fortune, E. S., & Cowan, N. J. (2020a). Variability in locomotor dynamics reveals the critical role of feedback in task control. *eLife*, 9, e51219.
- Uyanik, I., Sefati, S., Stamper, S. A., Cho, K. A., Ankarali, M. M., Fortune, E. S., & Cowan, N. J. (2020b). Data associated with publication "Variability in locomotor dynamics reveals the critical role of feedback in task control". *Johns Hopkins University Data Archive*, doi:10.7281/T1/UDTJPD, V1.
- Van Der Kooij, H., & Peterka, R. J. (2011). Non-linear stimulus-response behavior of the human stance control system is predicted by optimization of a system with sensory and motor noise. *Journal of computational neuroscience*, 30(3), 759-778.



Tool Flank Wear Analysis for MQL Assisted Milling of Strenx 1100 Structural Steel

Mustafa Kuntoğlu^{1*},

^{1*} Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7291-9468), mkuntoglu@selcuk.edu.tr

(First received 17 May 2021 and in final form 5 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.938234)

ATIF/REFERENCE: Kuntoğlu, M. (2021). Tool Flank Wear Analysis for MQL Assisted Milling of Strenx 1100 Structural Steel. *European Journal of Science and Technology*, (25), 629-635.

Abstract

Strenx 1100 structural steel has unique material properties enables to utilize in important engineering applications such as marine and heavy vehicles. Due to the surface integrity of the parts produced by this material is of paramount importance, tool wear condition needs to be considered as well. As being applicable and easy to measure, tool flank wear (V_B) is widely preferred in the field and reflects the remaining tool life. Minimum quantity lubrication (MQL) has been preferred most recently in machining operations especially for the hard-to-cut materials to improve the machinability characteristics. This paper contains experiments and further analysis of tool flank wear during MQL assisted milling of the Strenx 1100 steel. Cutting speed, feed rate and depth of cut were included in the experimental plan and Taguchi L_9 design was adopted. Measured wear results were evaluated with 3d surface plots, analysis of variance (ANOVA) and optimization of parameters were carried out depend on signal to noise (S/N) ratio. Accordingly, cutting speed is the first parameter affecting tool flank wear about 53.2% and followed by feed rate about 35.77%. Parametric optimization depend on S/N ratio shows that first order of the all cutting parameters need to be selected for minimum tool flank wear which is observed on 3d graphs that the increase in the amount of wear with higher parameter levels. This comprehensive analysis is a guide for the practical applications in the industry as providing the limitations during applying a wide range of cutting parameters.

Keywords: Strenx 1100 Steel, Tool flank wear, MQL, Milling, Hard Machining.

Strenx 1100 Yapısal Çeliğinin MMY Destekli Frezelenmesinde Serbest Yüzey Aşınması Analizi

Öz

Strenx 1100 yapısal çeliği, deniz araçları ve ağır araçlar gibi önemli mühendislik uygulamalarında kullanılmasına olanak sağlayan benzersiz malzeme özelliklerine sahiptir. Bu malzemeden üretilen parçaların yüzey bütünlüğü büyük önem taşıdığından, takım aşınma durumunun da dikkate alınması gerekir. Uygulanabilir ve kolay ölçülebildiği için, takım serbest yüzey aşınması (V_B) bu alanda yaygın olarak tercih edilir ve kalan takım ömrünü yansıtır. İşlenebilirlik özelliklerini iyileştirmek adına özellikle kesilmesi zor malzemeler için son zamanlarda işleme operasyonlarında minimum miktarda yağlama (MQL) uygulanmaktadır. Bu çalışma Strenx 1100 çeliğinin MMY destekli frezelemesi sırasında serbest yüzey aşınması analizini ve deneylerini içerir. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği deneysel plana dâhil edilmiş ve Taguchi L_9 tasarımı benimsenmiştir. Ölçülen aşınma sonuçları 3 boyutlu yüzey grafikleri ile değerlendirilmiş, varyans analizi (ANOVA) ve parametrelerin optimizasyonu sinyal / gürültü (S / N) oranına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre, kesme hızı serbest yüzey aşınmasını yaklaşık% 53.2 oranında etkileyen ilk parametredir ve bunu yaklaşık % 35.77 ile ilerleme izlemektedir. S / N oranına bağlı parametrik optimizasyon, minimum serbest yüzey aşınması için kesme parametrelerinin birinci sırasının seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu kapsamlı analiz, çok çeşitli kesme parametrelerinin uygulanması sırasında sınırlamaları ortaya koyduğu için endüstrideki pratik uygulamalar için bir kılavuz niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Strenx 1100 Çeliği, Serbest Yüzey Aşınması, MMY, Frezeleme, Sert işleme.

* Corresponding Author: mkuntoglu@selcuk.edu.tr

1. Introduction

Structural steels are generally preferred for their improved properties in load bearing applications. This type of steel requires good weldability in order to create large scale parts utilized for transportation. However, additional machining operation needs to be performed for manufacturing of welding grooves. Strenx 1100 is a member of the structural steel family characterized with high tensile and yield strength which makes it appropriate in many sector such as marine engineering, excavators, heavy vehicles and cranes (Kurc-Lisiecka, Piwnik, & Lisiecki, 2017; SSAB, 2021). Beyond its explicit advantages, Strenx 1100 can be accepted as hard-to-cut material with ingredients and mechanical properties. Typically, due to their sheet-metal form, several modifications can be performed by milling operation for industrial applications.

Hard materials have been demanded growingly from the industries especially in the last decade (Davim, 2011; Grzesik, 2008). Compared to conventional materials, they present challenging issues such as poor surface integrity and excessive tool wear (Umbrello, Micari, & Jawahir, 2012). The problem is originated from high cutting forces and temperatures at the cutting area (Tönshoff, Arendt, & Amor, 2000). The cutting tool is experienced surplus mechanical and thermal loads primarily that pave the way for rapid deformations. Since the machined surface is of paramount importance (Şahinoğullari & Luş, 2021), cutting edge needs to be considered at least that much (Niaki & Mears, 2017). To date, some attempts have been made with taking precautions to overcome these problems (Chandrasekaran & M'Saoubi, 2006). MQL assisted machining is a known and effective way which conveys the pulverized oil to the cutting zone with the help of pressured air (Dong & Duc, 2019; Sen, Mia, Mandal, & Mondal, 2019). Oil granules make easier to separate the chip from main material with decreasing the coefficient of friction when it is compared with dry cutting conditions (Çetindağ, Çiçek, & Uçak, 2020). Therefore, cutting forces and temperatures are reduced considerably. This procures to achieve longer cutter life, less energy consumption and sustainable machining environment (Birmingham, Sim, Kent, Gardiner, & Dargusch, 2015; Jang, Jung, & Seok, 2016). Toward flood cooling, MQL allows for employing minimum fluid which reduces environmental and economic burden as well (Gupta et al., 2021). By this way, adverse effect of the chemicals in the lubricants can be avoided for the humans, nature and living creatures. MQL technology has been integrated to different machine tools successfully from many researchers in the past for the mentioned advantages and contributions.

The literature review shows that a plenty of paper published were focused on the improvements obtained by MQL. A group of them have been studied about the tool wear and related mechanisms before during hard milling operation. Mia worked on the milling of AISI 4140 with MQL for optimum conditions and they stated the deviation in surface quality was revealed owing to the flank wear (Mia, 2018). Muaz and Choudhury carried out a study on experimental investigation of milling of AISI 4340 steel comparing lubrication strategies (Muaz & Choudhury, 2019). On another study, MQL adopted hard milling of AISI D2 was modeled for measuring effectiveness of parameters in order to determine tool life (Iqbal, Ning, Khan, Liang, & Dar, 2008). A performance measurement was performed based on different ingredients of MQL during milling

of Hastelloy C276 (Günan, Kıvak, Yıldırım, & Sarıkaya, 2020). The best tool life was determined according to cooling strategy along with tool wear types and triggering mechanisms. Zhang et al. investigated tool wear mechanisms during milling of hard H13 steel under different cooling environments (Zhang, Li, & Lv, 2014). Bashir et al. indicated the optimum cooling conditions in order to achieve longer tool life and machining characteristics for hardened AISI 4140 steel (Al Bashir, Mia, & Dhar, 2018). They exhibited the supremacy of MQL system clearly on obtaining better tool life. A comparative study was carried out for the best oil mixtures during MQL based hard milling of Inconel 690 (Sen, Gupta, Mia, Pimenov, & Mikołajczyk, 2021). The best tool wear and machinability conditions were reached by palm and castor oil. Najiha and Rahman compared flood and MQL conditions during end milling of aluminum alloy. A detailed tool wear analysis and flank wear evaluation was performed and showed the benefits of MQL employment (Najiha & Rahman, 2016). A MQL assisted end milling operation modeling study was proposed from the authors (Sen, Mia, Mandal, Dutta, & Mondal, 2019) which showed the possibility of high accuracy prediction of tool flank wear and a group of machining variables. Singh et al. applied evolutionary techniques for wear optimization in milling of Inconel 718 (Singh, Gupta, Mia, & Sharma, 2018). It was a comparison study based on different cooling conditions which demonstrated the effectiveness of MQL over other techniques. Seemingly, a plenty of paper published on the flank wear analysis using several workpiece materials in MQL assisted milling operation in the past. A general comment made about these papers on the superiority and effectiveness of MQL technique.

Although there have been a number papers on hard milling with MQL assistance, no paper was encountered focused on the sustainable milling of Strenx 1100 construction steel. Therefore, this paper aims to investigate the tool flank wear progression. Data analysis were carried out with 3D surface plots, S/N ratio based optimization and ANOVA.

2. Material and Method

2.1. Material Properties

The workpiece utilized in the experiments is a special type of structural steel titled as Strenx 1100. Test materials are appropriate for milling operations provided by the manufacturer. Thus, chemical composition and mechanical properties can be procured (SSAB, 2021). Table 1 and Table 2 listed these properties separately. The dimensions of the samples (32 HRC) were 100 x 100 x 40 mm. To meet the requirements of standard experiments, fresh cutting tools were used for each test. Tool holder with the code 403 BT 40 ER32 x 70 (MAS) and cutting tool inserts with the code number of APXT 1604 PDSR-MM TIN (KORLOY) were chosen.

Table 1. Ingredients of the material (SSAB, 2021)

Elements	Amounts
C	0.21
Si	0.5
Mn	1.4
P	0.02
S	0.005
Cr	0.8
Cu	0.3
Ni	3
Mo	0.7
B	0.005

Table 3. Experimental design

vc Cutting Speed (A)	f Feed Rate (B)	ap Depth of Cut (C)
75	0.075	0.25
75	0.15	0.5
75	0.225	0.75
150	0.075	0.5
150	0.15	0.75
150	0.225	0.25
225	0.075	0.75
225	0.15	0.25
225	0.225	0.5

2.2. Machine Tool Properties and Physical Tests

Cutting speed, feed rate and depth of cut were defined in the experiments. Physical tests were done on CNC (DAHLIL). Instead of 27 experiments, Taguchi design was used and totally 9 physical tests were performed which is explained in following. Before the experiments, some observations during preliminary tests helped for determination of final values. In this procedure, a number of initial parameters were approved considering chatter vibrations and undesired chip formation. All of the experiments were executed as three times and eventually the arithmetic average value was calculated.

2.3. MQL System

MQL supply was fed from the depository unit (Werte) having 24 V AC/DC voltage and 4 bars pressure. For the lubrication, KT 2000 oil was utilized and conveyed to the machine environment and nozzle 50 ml/h with the amount of lubrication in unit time. Nozzle placement was arranged closely to the cutting area targeting the contact zone. MQL nozzle adopted to the machine tool is demonstrated in Figure 1.

2.4. Experimental Design

Due to the high material wastage and high costs of the utilized material, Taguchi based experimental design is capable of limiting the extreme consumes (Taguchi, 1987). Main purpose of this method is to provide minimum number of experiments according to the selected parameters group in the pool. Taguchi is an approved method used for optimization and experimental design (Kivak, 2014). Typically, Taguchi reduces extra costs, labor and time within the purpose of high quality and efficiency. This also achieves minimum energy consumption and wastage which pave the way for sustainable manufacturing. In this work, in place of all experiments, L₉ orthogonal array was utilized. Taguchi based experimental design is exhibited in Table 3 which contains the adopted parameters as well.

Taguchi addresses two main operational function namely S/N ratio and objective function. Taguchi aims to reduce noises in order to reach minimum number of tests simultaneously. Also, for determination of performance of the targeted responses, standart deviations are calculated using objective function (Kechagias, Aslani, Fountas, Vaxevanidis, & Manolakos, 2020). According to the demand from the target response, some equations are used for determination of the optimum value which can be maximization, minimization or normalization (Kuntoğlu & Sağlam, 2019). Due to the expectation from the wear development is as low as possible, smaller is better type objective function needs to be calculated as demonstrated in the following equation:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{x} \sum_{i=1}^x z_i^2 \right] \quad (1)$$

2.5. Tool Flank Wear Measurement

The flank wear expands on the tool surface in vertical and horizontal directions. Wear depth is the main determinative of the severeness level (Siddhpura & Paurobally, 2013). Since the propagation may fluctuate on the area, either maximum depth or average depth is taken as the flank wear value. In this paper, former one was chosen as the main tool wear. Flank wear measurements were obtained on microscope (Leika) after each experiment. Figure 1 represents the measuring of the flank wear with macro and micro photos of cutting edge. Also, machine tool and MQL system are represented as an experimental image. After the measurement of wear, detailed analyses were performed as it will be explained in the next section.

3. Results and Discussion

Tool flank wear is accepted as the main tool life criteria as develops intersection of the main cutting edge and flank surface ("ISO 3685-1993(E). Tool life testing with single point turning tools," 1993). With higher wear values at this area, tool loses its cutting ability which leads to higher cutting forces and cutting tool geometry changes. In addition, chatter vibrations may show it as a result of the variable cutting conditions. With the progression of this type of wear, other wear types may be triggered resulting in the failure of cutting edge.

Figure 2 demonstrates the flank wear conditions on the flank surface for 9 experiments. Except for the flank wear, other wear

types were not observed clearly. All measurements have been taken with the same zoom rate and lightness in order to protect

the safety of the measurements.

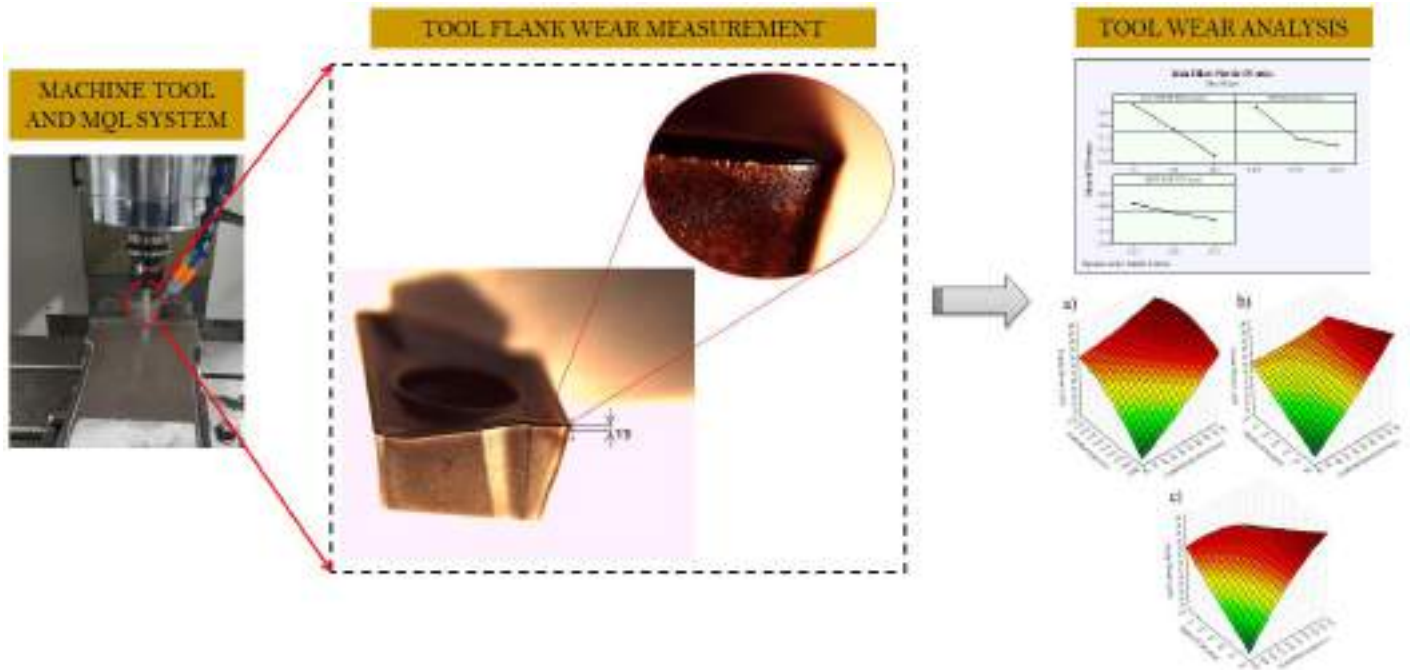


Figure 1. Measuring of flank wear and graphical abstract

3.1. Tool Wear Mechanism

As being a natural event, tool wear develops on the cutting tool during metal removing as a result of load factors such as mechanical, thermal, chemical and oxidation (Coromant, 1994; Kuntoğlu & Sağlam, 2019). According to different areas of the cutting tool edge, each factor is effective depend on the occurring mechanism. It is actually depend on the contact area between tool and workpiece, chips formation, temperature gradient, stress distribution and ingredients of the materials. As a result, four different types of wear mechanisms reveal while machining. Abrasive, adhesive, diffusion, oxidation and fatigue wear may occur separately or together. Flank wear is attributed to the abrasive and adhesive wear mechanisms primarily (Aslan, 2020). Abrasive wear is characterized as the hard particles ruptured from the cutting tool and workpiece abrade the cutting face with squeezing between tool and workpiece during chip removing. Adhesive wear on the other hand is triggered by the cohesion of the soft particles of workpiece to the cutting tool and bring along the tool material during rupturing from the material.

3.2. 3d Surface Plot Based Analysis

Basically, tool life is an important representative when determining the total costs of a manufacturing chain. Despite there are many contributing factors from beginning the material supply to the assembly process, tool condition is an effective variable with its hidden and open impacts. Owing to the importance of cutting geometry, whole cutting procedure is affected from the wear situation of the cutting tool. But the main concern should be the part quality which heavily depends on the tool health. Therefore, progressive flank wear need to be considered for the success of the cutting process.

Figure 3 demonstrates the 3D surface plots for the combined effect of of cutting parameters on flank wear during milling of Strenx 1100 steel. During cutting of hard materials, difficult-to-cut and high strength structure requires high cutting forces.

However, compelling the chip to separate from the main material leads to high cutting temperatures, unstable stress distribution and on the next cycles accelerates tool wear progression. High cutting speeds make easier chip removing and increases coefficient of friction at the same time. In the context of this study, MQL assistance prohibited the rapid increase of flank wear as it can be seen in the Figure 3a-c. Considering the upper limit of the flank wear is about 0.2 mm in general, maximum wear land was observed in the range of 22-46 μm .

In Figure 3a, cutting speed and feed rate with high values increases up the flank wear value dramatically to the boundary conditions. It was also found from the authors (Sen, Mia, Mandal, Dutta, et al., 2019) in hard milling. Agreeing the feed rate is a kind of speed of the cutting tool, it is expected that higher feed rate and cutting speed elevate the cutting temperatures with the increase of friction.

When Figure 3b is considered, the effect of higher values of cutting speed can be observed especially for the lower depth of cut values on the progression of flank wear. On the small cutting speed values, the change from 0.25 to 0.75 mm of depth of cut speed up the flank wear which is attributed to the high material removal rate. However, with the increase of cutting speed and especially for the maximum values, high depth of cut reduces flank wear rate (Astakhov, 2007). Considering the influence of depth of cut compared to cutting speed, this reduction can be neglected.

For the Figure 3c, similar observations can be performed with the 3a and 3b as cutting parameters exhibit the same behavior. However, it should be noted that dramatic impact of depth of cut is observed clearly compared to Figure 3b. It is thought that high cutting depth enables the contact of tool-workpiece materials which is important to keep the cutting geometry due to the hardness of the steel. Similar result was found from Sen et al. during milling of hard material (Sen, Mia, Mandal, Dutta, et al., 2019). Lower values may lead to loss of

ideal cutting conditions and undesired chip form, unbalanced load distribution and cutting forces.

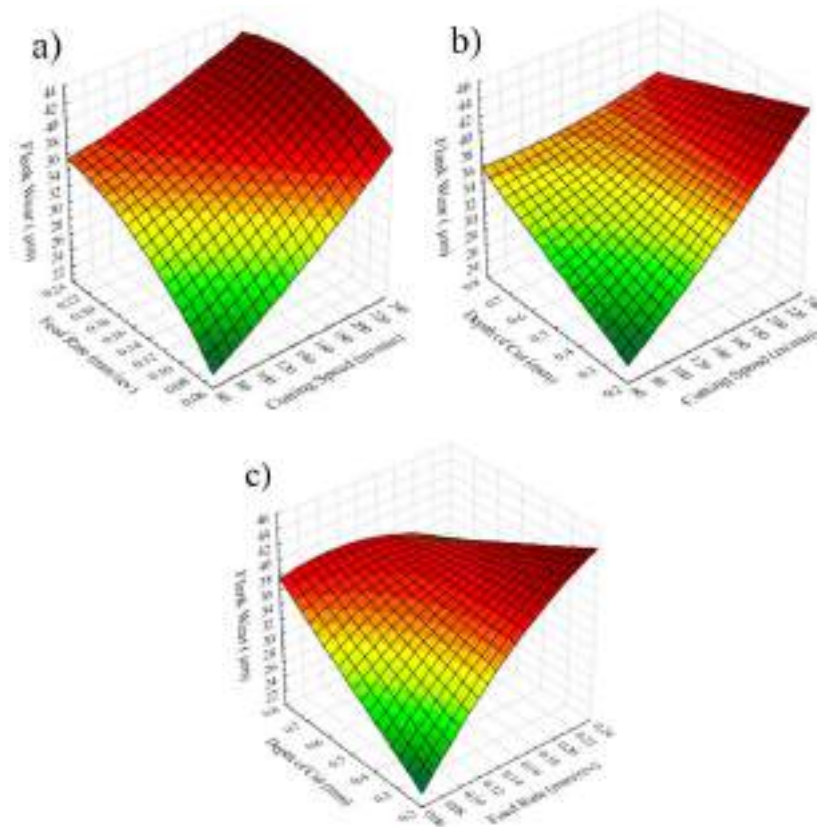


Figure 3. 3D plots of the combined effect of inputs on flank wear

3.3. Parametric optimization for flank wear

Parameter optimization is crucial step on data analysis. In addition, it is considerably determinative on the general performance of cutting tool. Thus, optimum conditions should be obtained for any response parameter in the way of better machinability.

Taguchi optimization is reliable and accepted method for determining the best milling parameters. In Figure 4, main effects plot for S/N ratios are presented. Due to S/N ratio is calculated with ratio of signal power to noise power, higher values are accepted as the best, in here the minimum value. As it can be seen, lower values of cutting speed, feed rate and depth of cut produce the best flank wear value ($v_c=75$ m/min, $f=0.075$ mm/rev, $a_p=0.25$ mm). Accordingly $24.2 \mu\text{m}$ is the minimum flank wear value in MQL assisted milling of Strenx 1100. In addition, it can be said that the questionable situation of depth of cut effect in 3D plots is clearly seen thanks to Taguchi based optimization.

3.4. ANOVA for Flank Wear

Anova provides the importance or the contribution rate of the design parameters on response parameter. Main advantage of

this method is the several options for statistical measurement. Namely, statistical evaluation can be carried out by percent contribution (PC) which is calculated with dividing the sum squares (SS) of each parameter to the total SS value. Also, F value shows the impact and calculated with division of SS of parameters to the SS value of error. P value is a representative finding each parameter either they remain in the statistically important range in the 95% confidence interval.

When looking to the Table 5 for the Anova findings, PC value demonstrates that cutting speed is the most effective parameter about 53.2% and followed by feed rate which is influential about 35.77%. Depth of cut has negligible importance on tool flank wear seemingly (4.69%). F values also support these results ($8.39 > 5.64 > 0.74$). Statistical findings verified the previous results as demonstrated in the 3D plots and Taguchi based optimization. Therefore, it is noteworthy to mention that a comprehensive analysis is performed for the optimization of milling conditions for flank wear of Strenx 1100 steel under MQL environment.

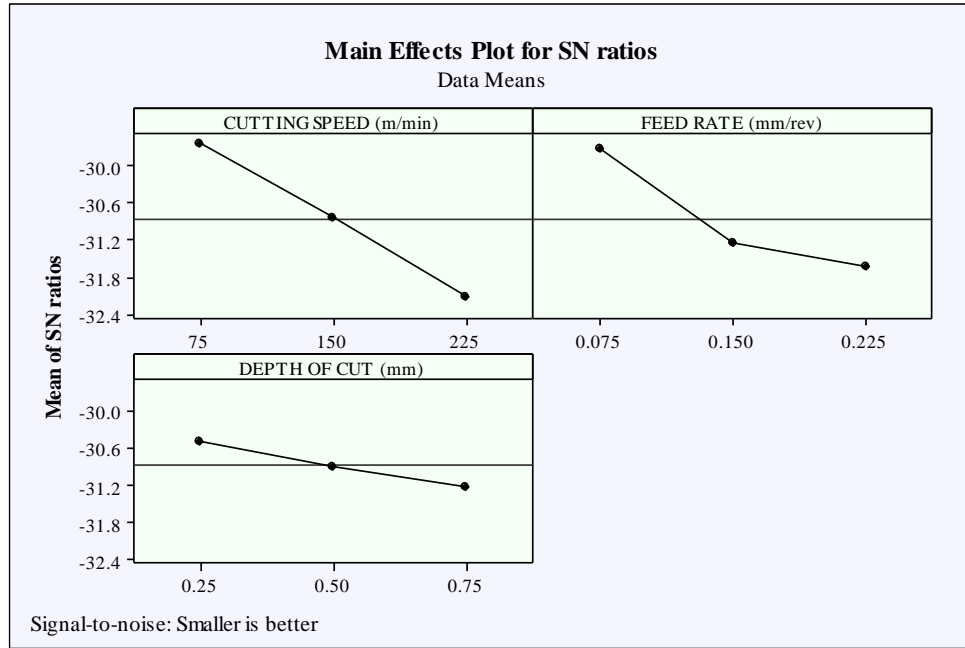


Figure 4. Optimum cutting parameters for minimum flank wear

Table 5. ANOVA results for flank wear

Source	Degree of Freedom	Sequential sums of squares	Adjusted sums of squares	F value	P value	Percent Contribution (%)
Cutting Speed	2	9.162	4.5810	8.39	0.106	53.2
Feed Rate	2	6.1582	3.0791	5.64	0.151	35.77
Depth of Cut	2	0.8081	0.4040	0.74	0.575	4.69
Residual Error	2	1.0920	0.5460	-	-	6.34
Total	8	17.2202	-	-	-	100

4. Conclusions and Recommendations

A comprehensive analysis and evaluation for the construction steel, Strenx 1100 was carried out under MQL conditions during milling. Key findings from the study are summarized in the following:

- Cutting speed is the most effective parameter on flank wear with 53.2% contribution according to ANOVA which can be supported with 3D surface plots. Also, higher cutting speed produce higher flank wear which exhibits the minimum value of cutting speed should be selected for wear optimization.
- Feed rate follows the cutting speed in effectiveness with the contribution ratio of 35.77%. It is also recommended that lowest feed rate value need to be considered for minimum flank wear.
- Seemingly, depth of cut has no important effect on flank wear.
- Minimum flank wear value can be obtained with the application of the group of cutting parameters namely, $v_c=75$ m/min, $f=0.075$ mm/rev, $a_p=0.25$ mm.
- The outlined findings belong to ANOVA, 3D plots and optimization promote each other which demonstrate the

validity of the selected methodology for the analysis of milling of Strenx 1100 construction steel.

- It can be concluded that the proposed method, evaluation with graphs, optimization plots and statistical analysis are compatible with each other and can be applied to hard milling operations.
- MQL assisted milling operations can be applied to several hard materials namely construction steels in the future considering their value in the industry.

References

Al Bashir, M., Mia, M., & Dhar, N. R. (2018). Investigations on surface milling of hardened AISI 4140 steel with pulse jet MQL applicator. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*, 99(3), 301-314.

Aslan, A. (2020). Optimization and Analysis of Process Parameters for Flank Wear, Cutting Forces and Vibration in Turning of AISI 5140: A Comprehensive Study. *Measurement*, 107959.

Astakhov, V. P. (2007). Effects of the cutting feed, depth of cut, and workpiece (bore) diameter on the tool wear rate. *The*

- International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(7), 631-640.
- Birmingham, M., Sim, W., Kent, D., Gardiner, S., & Dargusch, M. (2015). Tool life and wear mechanisms in laser assisted milling Ti-6Al-4V. *Wear*, 322, 151-163.
- Chandrasekaran, H., & M'Saoubi, R. (2006). Improved machinability in hard milling and strategies for steel development. *CIRP annals*, 55(1), 93-96.
- Coromant, S. (1994). *Modern metal cutting: a practical handbook*: Sandvik Coromant.
- Çetindağ, H. A., Çiçek, A., & Uçak, N. (2020). The effects of CryoMQL conditions on tool wear and surface integrity in hard turning of AISI 52100 bearing steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 463-473.
- Davim, J. P. (2011). *Machining of hard materials*: Springer Science & Business Media.
- Dong, P. Q., & Duc, T. M. (2019). Performance evaluation of MQCL hard milling of SKD 11 tool steel using MoS₂ nanofluid. *Metals*, 9(6), 658.
- Grzesik, W. (2008). Machining of hard materials. In *Machining* (pp. 97-126): Springer.
- Gupta, M. K., Song, Q., Liu, Z., Sarikaya, M., Jamil, M., Mia, M., . . . Pimenov, D. Y. (2021). Environment and economic burden of sustainable cooling/lubrication methods in machining of Inconel-800. *Journal of cleaner production*, 287, 125074.
- Günan, F., Kivak, T., Yıldırım, Ç. V., & Sarikaya, M. (2020). Performance evaluation of MQL with AL₂O₃ mixed nanofluids prepared at different concentrations in milling of Hastelloy C276 alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10386-10400.
- Iqbal, A., Ning, H., Khan, I., Liang, L., & Dar, N. U. (2008). Modeling the effects of cutting parameters in MQL-employed finish hard-milling process using D-optimal method. *Journal of materials processing technology*, 199(1-3), 379-390.
- ISO 3685-1993(E). Tool life testing with single point turning tools. (1993). In.
- Jang, D.-y., Jung, J., & Seok, J. (2016). Modeling and parameter optimization for cutting energy reduction in MQL milling process. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 5-12.
- Kechagias, J. D., Aslani, K.-E., Fountas, N. A., Vaxevanidis, N. M., & Manolakos, D. E. (2020). A comparative investigation of Taguchi and full factorial design for machinability prediction in turning of a titanium alloy. *Measurement*, 151, 107213.
- Kivak, T. (2014). Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts. *Measurement*, 50, 19-28.
- Kuntoğlu, M., & Sağlam, H. (2019). Investigation of progressive tool wear for determining of optimized machining parameters in turning. *Measurement*, 140, 427-436.
- Kurc-Lisiecka, A., Piwnik, J., & Lisiecki, A. (2017). Laser welding of new grade of advanced high strength steel STRENX 1100 MC. *Archives of Metallurgy and Materials*, 62.
- Mia, M. (2018). Mathematical modeling and optimization of MQL assisted end milling characteristics based on RSM and Taguchi method. *Measurement*, 121, 249-260.
- Muaz, M., & Choudhury, S. K. (2019). Experimental investigations and multi-objective optimization of MQL-assisted milling process for finishing of AISI 4340 steel. *Measurement*, 138, 557-569.
- Najiha, M. S., & Rahman, M. (2016). Experimental investigation of flank wear in end milling of aluminum alloy with water-based TiO₂ nanofluid lubricant in minimum quantity lubrication technique. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(9), 2527-2537.
- Niaki, F. A., & Mears, L. (2017). A comprehensive study on the effects of tool wear on surface roughness, dimensional integrity and residual stress in turning IN718 hard-to-machine alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 30, 268-280.
- Sen, B., Gupta, M. K., Mia, M., Pimenov, D. Y., & Mikołajczyk, T. (2021). Performance Assessment of Minimum Quantity Castor-Palm Oil Mixtures in Hard-Milling Operation. *Materials*, 14(1), 198.
- Sen, B., Mia, M., Mandal, U. K., Dutta, B., & Mondal, S. P. (2019). Multi-objective optimization for MQL-assisted end milling operation: an intelligent hybrid strategy combining GEP and NTOPSIS. *Neural Computing and Applications*, 31(12), 8693-8717.
- Sen, B., Mia, M., Mandal, U. K., & Mondal, S. P. (2019). GEP- and ANN-based tool wear monitoring: a virtually sensing predictive platform for MQL-assisted milling of Inconel 690. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(1), 395-410.
- Siddhpura, A., & Paurobally, R. (2013). A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(1-4), 371-393.
- Singh, G., Gupta, M. K., Mia, M., & Sharma, V. S. (2018). Modeling and optimization of tool wear in MQL-assisted milling of Inconel 718 superalloy using evolutionary techniques. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(1), 481-494.
- SSAB. (2021). <https://www.ssab.com.tr/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=6A0A9E9AF58C4AA2A29FC15CA0CE2590&language=en>.
- Şahinoğulları, E., & Luş, H. M. (2021). Effect of Machining on the Surface Roughness of 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 Steels After Nitriding. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(21), 410-415.
- Taguchi, G. (1987). *System of experimental design; engineering methods to optimize quality and minimize costs*. Retrieved from New York, America:
- Tönshoff, H., Arendt, C., & Amor, R. B. (2000). Cutting of hardened steel. *CIRP annals*, 49(2), 547-566.
- Umbrello, D., Micari, F., & Jawahir, I. (2012). The effects of cryogenic cooling on surface integrity in hard machining: A comparison with dry machining. *CIRP annals*, 61(1), 103-106.
- Zhang, S., Li, J., & Lv, H. (2014). Tool wear and formation mechanism of white layer when hard milling H13 steel under different cooling/lubrication conditions. *Advances in Mechanical Engineering*, 6, 949308.



The Oxy-Fuel Combustion Power Plant Model with Desulphurization Process and The Effect of Different Types of Coal on Operating Parameters

Oğuzhan Erbaş^{1*}, Halit Arat²

^{1*} Kutahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Kutahya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9424-4273), oguzhan.erbasm@dpi.edu.tr

² Kutahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Kutahya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6634-2535), halit.arat@dpi.edu.tr

(First received 24 May 2021 and in final form 5 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.942155)

ATIF/REFERENCE: Erbas, O. & Arat, H. (2021). The Oxy-Fuel Combustion Power Plant Model with Desulphurization Process and The Effect of Different Types of Coal on Operating Parameters. *European Journal of Science and Technology*, (25), 636-643.

Abstract

Clean coal technologies are defined as applications that improve environmental acceptability and efficiency in producing, preparing and using coal. With clean coal technologies, it is possible to increase the amount of energy obtained per unit ton by reducing emissions and wastes. However, today there are strict sanctions that must be followed due to the legal regulations on the protection of the environment and combating climate change. At this point, the clean coal-burning technologies in which the oxy-fuel combustion process (with the possibility of CO₂ storage) takes place come to the fore. In this study, the method of burning fuel with oxygen in a thermal power plant with a gross electricity generation of 500 MW was discussed. This thermal power plant model also has a fluidized bed dryer, a desulphurization plant, and a CO₂ storage process. The combustion results of different properties of coals were examined, and their effect on operating parameters was investigated.

Keywords: Clean coal, Desulphurization, Oxy-Fuel, Combustion, Fluidized bed dryer.

Kükürt Giderme Prosesli Oksi-Yakıt Yanmalı Enerji Santrali Modeli ve Farklı Kömür Tiplerinin İşletme Parametrelerine Etkisi

Öz

Temiz kömür teknolojileri, kömürün üretimi, hazırlanması ve kullanımında çevresel kabul edilebilirliği ve verimliliği artıran uygulamalar olarak tanımlanmaktadır. Temiz kömür teknolojileri ile emisyon ve atıkları azaltarak birim ton başına elde edilecek enerji miktarını artırmak mümkündür. Bununla birlikte, günümüzde çevrenin korunması ve iklim değişikliğiyle mücadeleyle ilişkin yasal düzenlemelerin bir sonucu olarak uyulması zorunlu katı yaptırımlar mevcuttur. Bu noktada özellikle oksi-yakıt yanma işleminin (CO₂ depolama imkânı ile) yer aldığı "temiz kömür yakma teknolojileri" ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, brüt elektrik üretimi 500 MW olan bir termik santralde oksijen ile yakıt yakma yöntemi ele alınmıştır. Bu termik santral modelinde ayrıca bir akışkan yataklı kurutucu, bir desülfürizasyon tesisi ve bir CO₂ depolama prosesi bulunmaktadır. Farklı özellikteki kömürlerin yanma sonuçları incelenmiş ve işletme parametrelerine olan etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Temiz kömür, Kükürt giderme, Oksi-Yakıt, Yanma, Akışkan yataklı kurutucu.

* Corresponding Author: oguzhan.erbasm@dpi.edu.tr

1. Introduction

Energy is one of the essential factors for developing countries, which directly affects the welfare of society. It has improved social and economic issues by providing a safe, adequate, affordable, and clean energy supply for countries. Therefore, as in the past, the efforts of countries to access energy resources and ensure supply security are increasingly continuing. In this context, especially coal, as typical in domestic energy sources, is one of the primary energy resources (TUBA-EWG, 2018). Although there is intense debate over the impact of coal on the environment, coal is an indispensable resource in energy production. Coal is still the most widely used source of electricity generation in many developed countries. It is expected to maintain this leading position in the future.

In meeting the growing energy needs for our country, it is crucial to increase our domestic lignites for electricity generation and heating and industry. Because; this situation will contribute to the economy and energy security (reducing external dependence). Energy imports share a significant share in our country's current account deficit. Therefore, there is a need to increase the use of lignite from our domestic resources by reducing environmental disadvantages within the framework of a holistic, realistic, and sustainable strategy. There are strict sanctions of the legal regulations on Environmental Protection and combating climate change (Erbaş and Rahim, 2009).

A large amount of SO₂ can be released due to combustion since coal contains a high amount of sulfur in its structure. Sulfur is a toxic gas that is seriously harmful to human health and the environment. Therefore, it is necessary to reduce SO₂ at its source before releasing it into the atmosphere (Acar et al., 2018). Low-quality coals are used by passing through certain stages to minimize environmental damage and because they are not suitable for direct use (Açikkar and Sivrikaya, 2020). Since coals in our country are generally lignite coal with low calorific value, their evaluation for electricity generation purposes is more appropriate. The calorific values of our coals vary from 1000 kcal/kg to 4200 kcal/kg. The lower calorific value of about 90% is less than 3000 kcal/kg. Clean coal technologies are essential for our low-quality domestic coal to be burned efficiently and without damaging the environment in energy production. Clean coal technologies are defined as "technologies designed to increase coal combustion efficiency and minimize environmental impacts". Clean coal technologies are a family of environmentally superior technological innovations compared to today's conventional technologies (ICCTS, 2017). The combustion in a circulating fluidized bed, biomass-coal mixed combustion process, oxy-fuel combustion process, and plasma method combustion-gasification processes are examples of the leading clean coal technologies. The first step of clean coal technologies is to ensure coal is produced from the mine as clean as possible. For this purpose, the coal washing (enrichment) facilities are established, although not all coals are suitable for these operations.

Oxy-fuel combustion is considered one of the best carbon dioxide emission retention methods and storage in coal-fired power plants (Gopan et al., 2015). This technology is similar to a conventional coal-fired power plant regarding the steam cycle and power equipment. The main difference lies in the comburent used during the combustion in the boiler. Precisely, it consists of a mixture of oxygen and recirculated flue gas. As a result of this

process, the flue gas stream shows a concentration of CO₂ of around 70% wt. After water separation, the CO₂ stream is compressed and further purified in the Compression and Purification Unit (CPU) before storage or use (Portillo et al., 2021). Xiong et al. (2011) analyzed the operating parameters of an 800 MW power plant under oxygenated combustion conditions. They found a 10.36 % reduction in net efficiency due to the inclusion of ASU (air separation unit) and CPU in the system under oxy-fuel combustion conditions (Xiong et al., 2011). In these systems, it is possible to reduce the energy cost of CO₂ compression work and obtain more energy from high-pressure flue gas with the help of pressurized oxy-fuel combustion (Pang et al., 2020). Skorek-Osikowska et al. (2013) conducted a supercritical power plant thermodynamic analysis (460 MW). They have examined the system's power consumption under oxy-fuel combustion conditions (Skorek-Osikowska et al., 2013). The usage of waste heat from ASU and flue gas treatment systems significantly reduced the power consumption of ASU and CPU during the process. Gopan et al. (2020) have proposed a gradual pressurized oxy-fuel combustion process. While they aimed to eliminate flue gas recirculation, they were also able to increase the net efficiency of the energy conversion plant by about 6 %. They have also found that the increase in fuel humidity affected system efficiency under pressure operation (Gopan et al., 2020). Yan et al. (2015) have compared three modes of flue gas recirculation: dry, semi-dry, and wet in the supercritical oxy-fuel combustion power cycle. They found that the optimized semi-dry process showed the highest efficiency and ease of operation. They also increased net efficiency by one percentage point by heating feed water (Yan et al., 2015). Pang et al. (2020), oxy-fuel burning experiments were carried out by burning lignite and anthracite coals in a fluidized bed burner (30kW). The high combustion pressure has improved the oxy-fuel combustion efficiency of both lignite and anthracite. This increase in combustion efficiency was higher for the anthracite coal type (Pang et al., 2020). Moon et al. (2019) have examined the combustion properties of oxy-fuel combustion and air combustion processes in the circulating fluidized bed. They compared the carbon dioxide purity and emission amounts in the resulting flue gas. In the experiments, semi-bituminous coal and lignite coal in different proportions were used as fuel. As a result of this research, the oxy-fuel database, combustion properties, temperature and pressure profiles, solid suspension density, and CO₂ purity, including emissions and combustion efficiency, were created. According to the results, it was observed that high CO₂ concentration reduces the load of the CO₂ purification unit, keeping pressure drop to a minimum in the circulating fluidized bed increases combustion efficiency, and flue gas feedback significantly reduces emissions (Moon et al., 2019).

In this study, the method of burning fuel with oxygen in a thermal power plant with a gross electricity generation of 500 MW was discussed. This model is designed with the "EBSILON Professional" energy systems design program. The modeled thermal power plant includes a fluidized bed dryer, air separation unit, desulphurization unit, and CO₂ compression process. Also, the system operating values were analyzed for coals with different characteristic properties.

2. Material and Method

Greenhouse gas emission values and national commitments on this issue (The Paris Climate Agreement) are seen as the two main problems that our country has to solve in energy. To reduce

greenhouse gas emissions from fossil fuel-based energy production, first, turn to renewable energy sources and use technology that will reduce emission values in fossil fuel-based energy production plants. In addition, instead of imported resources, it is aimed at domestic resources in investment. Our lignites, which have a high reserve ratio in our domestic resources and have a low thermal value, should be evaluated with clean coal technologies. In this context, energy conversion systems with oxy-fuel combustion processes are seen as an alternative.

Oxy-fuel combustion technology is, in principle, a technology with flexibility that can be used in electricity generation and applied for every fuel. The central units that distinguish these systems from traditional combustion systems are ASU, flue gas return, and CO₂ separation/storage units. In addition, the conventional combustion systems that are still working can also be converted into oxy-fuel combustion systems. In other words, oxy-fuel combustion systems can be retrofit integrated into existing systems (TUBA-EWG, 2018). Oxy-fuel combustion technology is seen as an efficient technology for coal combustion systems. When oxygen is used

instead of air as combustion gas, carbon dioxide-rich flue gas flow occurs in the oxy-combustion plant. Combustion occurs through oxygen-enriched air, pure oxygen, or flue gas by returning to the reactor. The returned flue gas is also used to adjust the temperature in the burner.

The use of oxygen or oxygen-enriched air instead of air is based on the destruction of nitrogen, high in volume in the air, from the combustion gas. Carbon dioxide at high concentrations (80-90% on a dry basis) can be efficiently and economically recovered by carbon dioxide compression. When oxygen is used as combustion gas, the combustion characteristic of the fuel changes significantly (Zheng, 2011). In addition, some equipment is required in oxy-fuel combustion plants. These are air separation units for oxygen production and flue gas compression units to purify and transport carbon dioxide. As part of this study, a thermal power plant that produces electricity with an oxy-fuel combustion process was also considered. The thermal power plant considered is modeled with the “EBSILON Professional” energy systems design program. The modeled thermal power plant structure is shown in Figure 1.

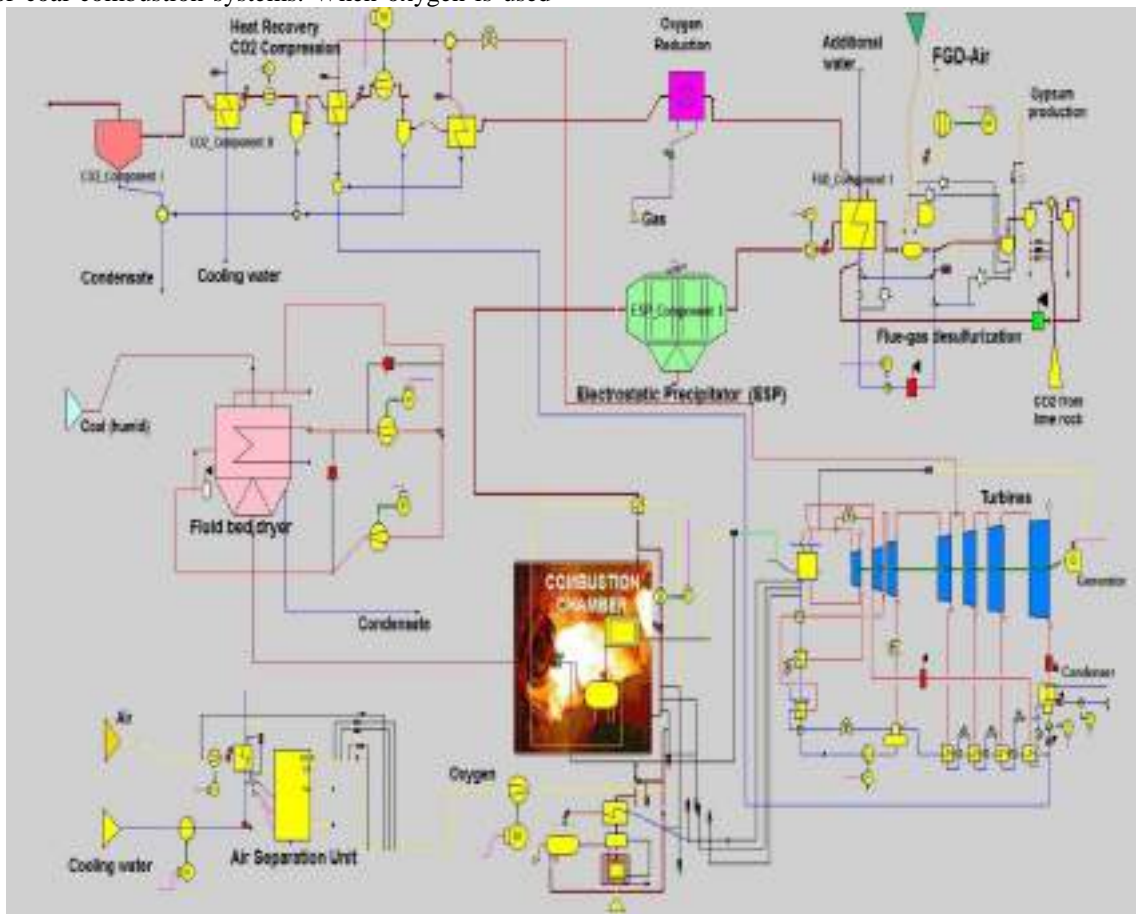


Figure 1. Schematic flow diagram of oxy-fuel combustion power plant model.

The analyzed system, coal drying unit (fluid bed dryer), air separation unit (ASU), boiler, electrostatic parser (ESP), flue gas desulfurization (FGD), and the purification of carbon dioxide-compression turbine-generator-condenser units covers. Part of the combustion gas is fed back again, mixed with oxygen, and sent to the burner. ESP is used to separate the dust from the flue gas, and the FGD unit is used to remove the remaining sulfur

oxides (SO_x) in the flue gas. The flue gas then passes through the carbon dioxide purification and compression unit for water removal and compression. After finishing, the resulting flue gas can now be easily transported and injected into the storage area (White and et al., 2009). The variation of operating parameters in this analyzed oxy-fired thermal power plant model for different quality coals is shown in Table 1.

Table 1. Power plant operating parameters for different quality coal.

NCV (kcal/kg)	P _{elknet} (MW)	M _{coal} (t/h)	M _{O₂} (m ³ /h)	β _{CO₂comp} (%)	M _{CO₂compoutlet} (kg/s)	M _{O₂reduction(FGO)} (kg/s)
5348 (I)	311.5	12.50	216450	94.8	101	122
1941 (II)	299.7	31.70	225968	95.6	114	137
2454 (III)	305.8	24.80	219469	94.9	108	130
3708 (IV)	306.3	17.50	218036	92.5	105	128
4113 (V)	306.8	16.10	219876	94.1	109	129

3. Results and Discussion

It shows that the component that causes the most damage to exergy in energy conversion systems is the boiler system, depending on the nature of the combustion process. In general, this damage is increasing in coal-fired thermal power plants (Arslan and Erbas, 2021). In oxy-combustion, coal is burned with a mixture of O₂/CO₂ instead of air. For this, the flue gases are returned at specific rates, mixed with O₂, and fed into the

combustion chamber. The CO₂ ratio in the resulting flue gases can be up to 90% and above. This, in turn, is the separation of CO₂ in flue gases, and it allows it to be held. The results for five different types of coal were examined in the thermal power plant model with the oxy-fuel combustion process. The results were also analyzed, especially for the best and worst quality coals. The characteristic properties (elemental analysis values) of these coals used in the model are given in Figure 2.

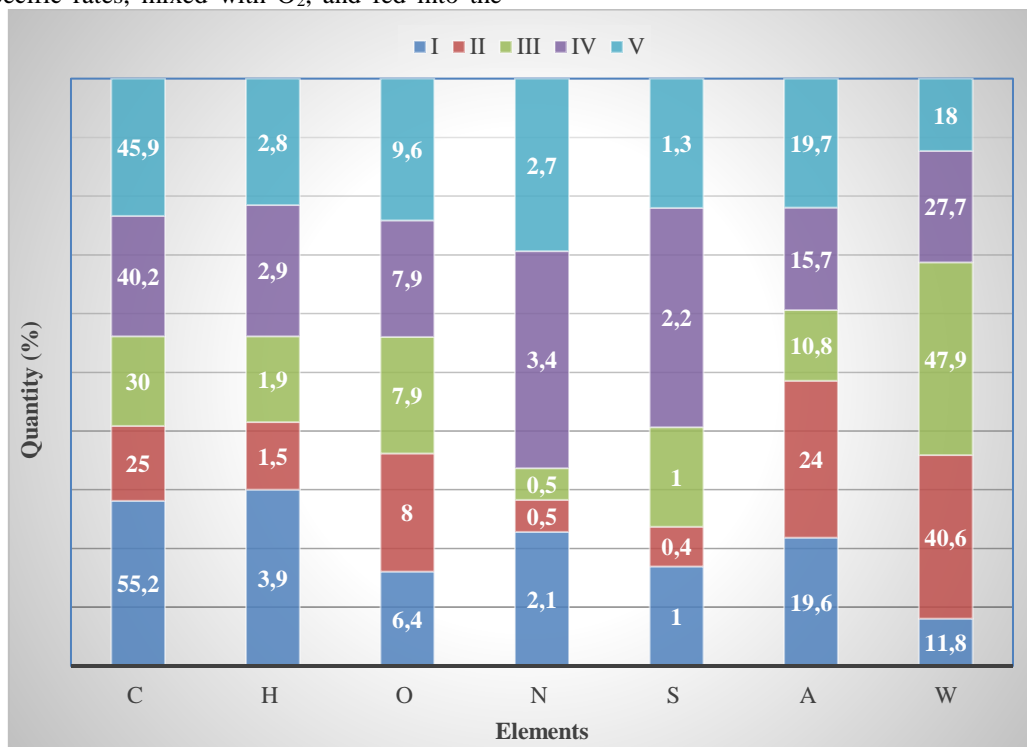


Figure 2. Elemental analysis values of different coal types used in the model.

Moisture in the structure of coal is one of the most critical parameters in terms of the chemical and physical properties of coal and the use of coal. As the degree of coalification decreases, the amount of moisture in the coal increases, and the structure of some young coals consists mainly of water. Coal drying technologies are gaining importance in terms of increasing combustion efficiency. Water can affect coal reactivity, gasification mechanisms, drying and volatile matter output, ignition temperature, tendency to crumble, transport economy, accumulation properties, limits of combustion. In addition, the effect of the moisture content of coal on combustion depends directly on the combustion system used.

Fluidized bed dryers with intense turbulence conditions provide an ideal dehumidification environment for coal fuels with high humidity. In the fluidized bed, the air pressurized through the fan passes through the dispensing nozzles, fluidizing the medium in which the grains are located. As a result, air passes through the solid particles that need to be fluidized at a high enough speed to defeat the gravitational force acting on the particles, ensuring that these particles are suspended. In the fluidized bed dryer, the thermal value of coal and the amount of energy spent according to the moisture content of the coal are shown in Figure 3. As the humidity increases and the thermal value of the fuel decreases, the amount of energy spent increases.

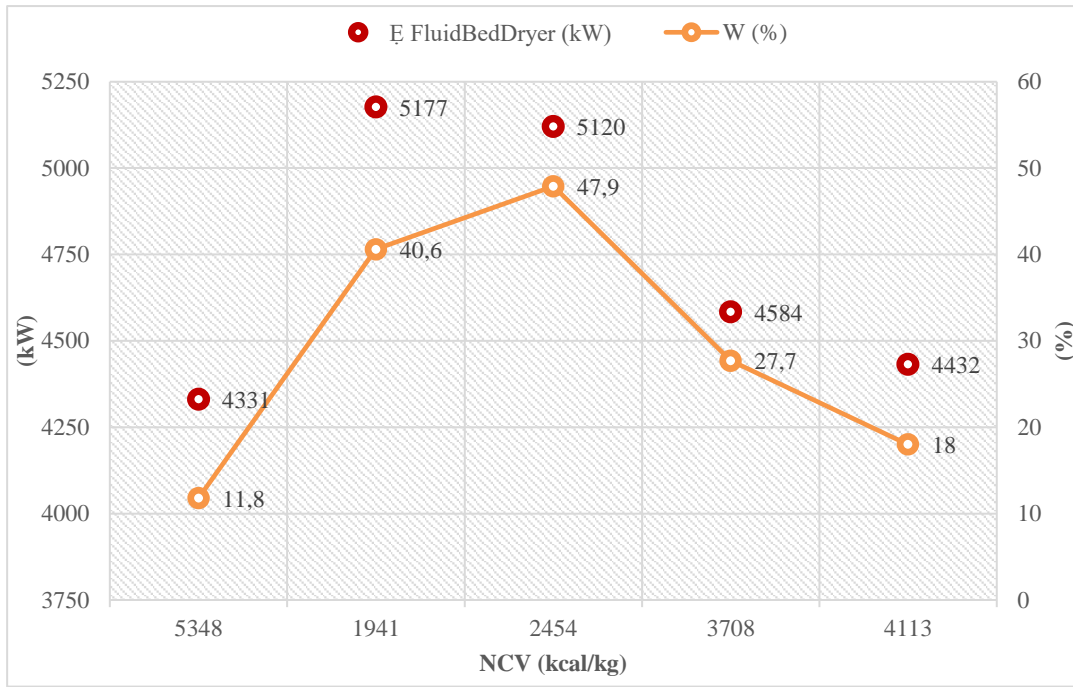


Figure 3. Effect of fuel thermal value and humidity on the amount of energy consumed.

The ASU, one of the most critical units of the system, provides the oxygen needed for combustion by decomposing air. The capacity of this unit varies depending on the need of the combustion system. This high-purity oxygen is mixed with recycled flue gas inside the boiler to ensure similar combustion

conditions with air-burning systems before combustion. Mass flow values in the ASU process for the “coal I” type are shown in Figure 4. Mixing with flue gas is very important so that existing building materials can withstand the high temperatures caused by combustion when working with pure oxygen.

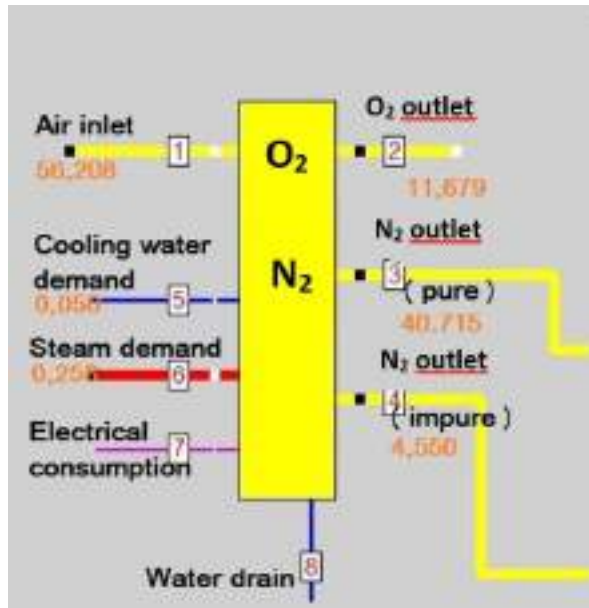


Figure 4. The mass flow values (m³/s) in the ASU.

The FGD technology is one of the most important technologies used to control SO₂. The limestone process used as a separator in this technology has made it preferable to other techniques in terms of cost. The limestone reaction is similar to the lime reaction. Only the preparation stages and the liquid/gas ratios required for washing vary. Because limestone is less active than lime, a greater liquid/gas ratio is necessary for washing in limestone reactions. Considering the results of the FGD process in the analyzed model, the amount of flue gas increases as the fuel thermal value decreases and the number of moisture

increases. This situation causes an increase in the amount of solution and energy expended for the FGD process. Calcium sulfate (CaSO₄) obtained in the FGD process is more easily separated due to its large crystal structure. In addition, gypsum can be used in the production of materials such as cement. Because calcium sulfate is easily filtered, the accumulation in the wet filter inner surfaces and plumbing is much less. For the best (coal I) and worst (coal II) coal types, the changes in mass, temperature, and energy in the FGD process are shown in Figure 5.

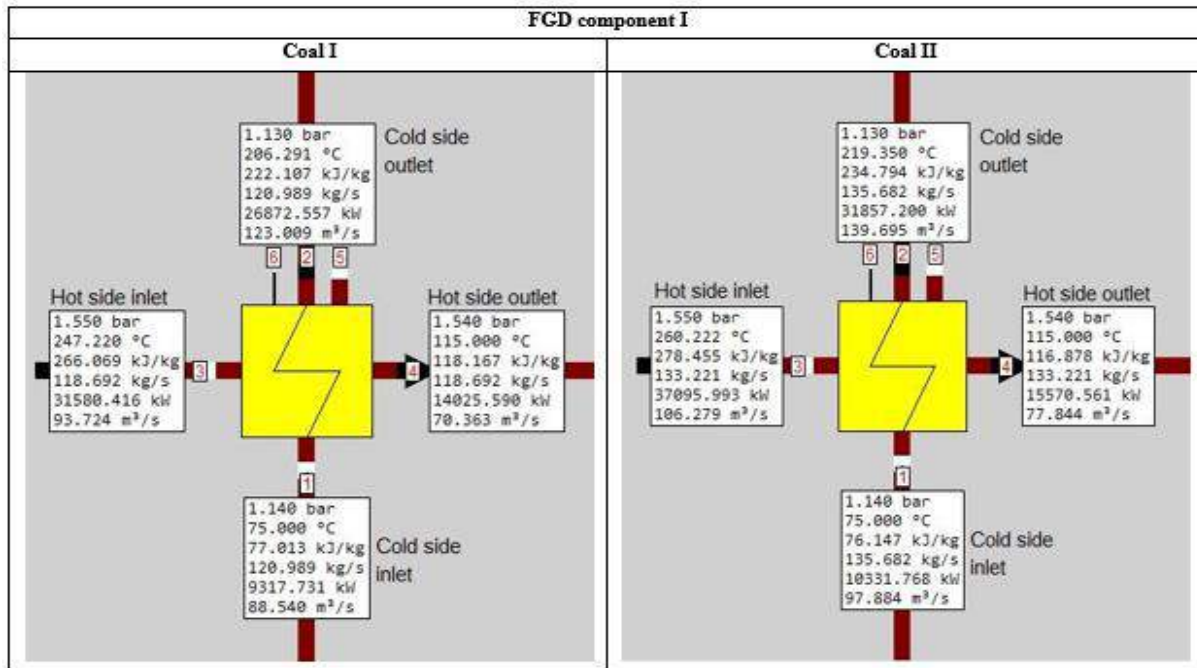


Figure 5. The mass and energy balance in the flue gas desulfurization (component I) system.

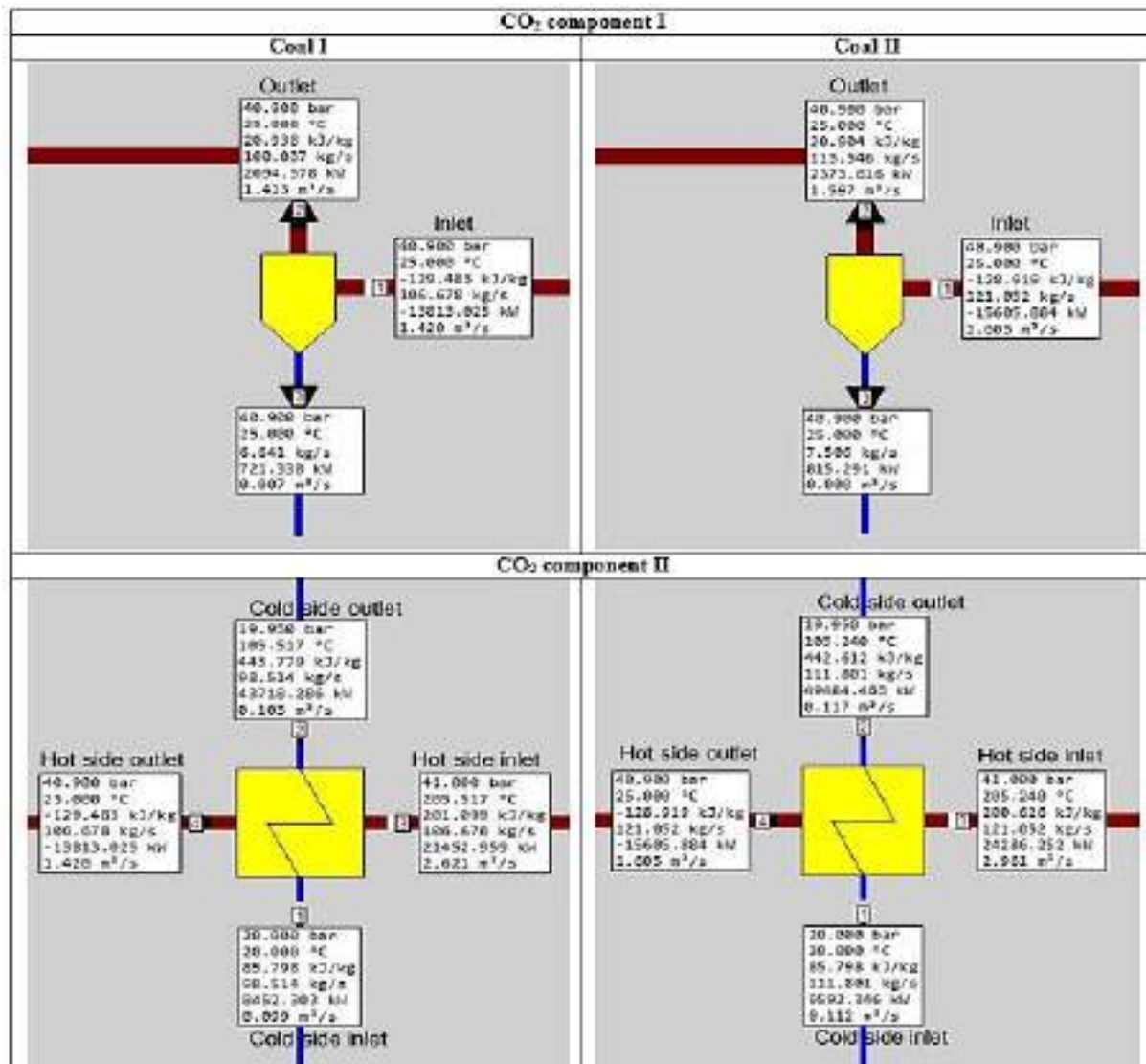


Figure 6. The mass and energy balance values of CO₂ compression/storage unit.

In clean coal technologies, the aim is to eliminate harmful coal emissions and ensure that carbon dioxide generated by combustion is stored in various forms (Yılmazoğlu, 2010). The most crucial difference between oxy-combustion systems and traditional systems is that the CO₂ ratio in flue gases is very high (65-95%). Thus, the separation and retention of CO₂ are possible. The CO₂ separation unit consists of a series of multi-stage compression and cooling steps. Here, first, the water is removed, and then the CO₂ is liquefied. Non-liquefied gases (Ar, N₂, O₂, CO, NO_x) are ejected from the chimney as exhaust gas. The CO₂ ratio in flue gas can be significantly affected by air leaks in the system (TUBA-EWG, 2018). In addition, the proportion of CO₂ increases as the ratio of O₂ fed into the combustion chamber increases. The mass and energy balances in components I and II of the CO₂ compression/storage unit are given in Figure 6.

The ESP is the most widely used technology in thermal power plants. The basic working principle of electrostatic filters is that the dust particles in the gas passing through the filter are charged with a high-voltage corona electrode. The particles are collected on this electrode, moving towards the collection

electrode. The two most essential elements of the electrostatic filter are the corona and the collection electrodes (Kim et al., 2010).

The structure of the corona electrode and the corona discharge it creates significantly affect the electrostatic filter efficiency. The best performance in an electrostatic filter is generally possible with the appropriate selection of filter parameters and geometry at the initial stage. As the voltage applied to the corona electrode increases, the electrostatic filter efficiency also increases. Electrons separated from the electrode collide with gas molecules, ionizing them and creating new electrons.

The electrons that have formed hit the particles and stick. The particles poured from electrostatic filter electrodes resulting from shaking are collected, deposited, or discarded in hoppers. The performance of any electrostatic filter depends on the maximum electric field between the corona and the collecting electrode. Damages and changes in the mechanical integrity of the system cause a significant decrease in collection efficiency. The mass and energy balance values of the electrostatic precipitator unit are shown in Figure 7.

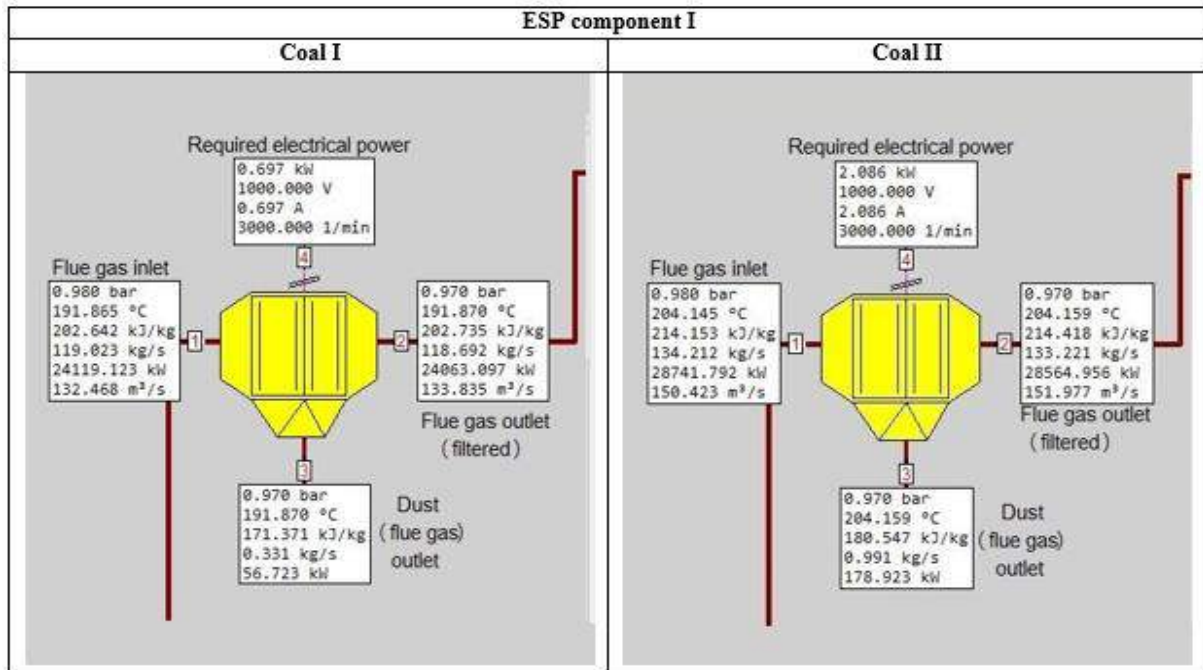


Figure 7. The mass and energy balance values of the ESP unit.

4. Conclusions and Recommendations

The coals owned by our country are mainly lignites with high ash, moisture, and sulfur rates and low thermal values. Most of the coal produced is burned at low yields in existing old power plants, creating environmental problems. Mainly based on the equipment and technologies of power plants, the most effective way to increase net efficiency at the desired rates are heat and process integration. A lot of recent work has focused on integrating heat recovery and atmospheric oxy-fuel combustion power plants. The optimization of system integration under different working conditions is also mandatory. With clean coal technologies, it is possible the reducing emissions and waste from coal usage and increasing energy to be obtained per unit ton. Thus, more energy can be produced using less coal. In this

context, it is necessary to develop clean coal technologies according to the characterization of our existing coals and increase pilot-scale design-implementation studies. For this purpose, the oxy-fuel combustion plant model (coal-fired) was considered. In model outputs, net electricity generated for coal with the lowest thermal value (type II) was 299.7 MW. In comparison, net electricity generated for coal with the highest thermal value (type I) was 311.5 MW. In addition, coal consumption was 31.70 (t/h) and 12.5 (t/h).

References

Acar M. Ş., Kayapınar O. & Arslan O. (2018) Islak kireçli baca gazı desülfürizasyon sistemi termodinamik ve ekonomik analizi, *Politeknik Dergisi*, 21(2): 359-368.

- Açıkcar, M., & Sivrikaya, O. (2020). Yıkılmış Türk Linyit Kömürlerinin Üst Isıl Değerinin Destek Vektör Regresyonu ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 16-24.
- Arslan, O., & Erbas, O. (2021). Investigation on the improvement of the combustion process through hybrid dewatering and air pre-heating process: A case study for a 150 MW coal-fired boiler. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 121, 229-240.
- Erbas, O., & Rahim, M. A. (2009) Düşük Kaliteli Linyitlerin Ultra Süper Kritik Kazanlarda Yakıt Olarak Kullanılması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (018), 83-90.
- Gopan, A., Kumfer, B. M., & Axelbaum, R. L. (2015). Effect of operating pressure and fuel moisture on net plant efficiency of a staged, pressurized oxy-combustion power plant. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 39, 390-396.
- Gopan, A., Verma, P., Yang, Z., & Axelbaum, R. L. (2020). Quantitative analysis of the impact of flue gas recirculation on the efficiency of oxy-coal power plants. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 95, 102936.
- ICCTS (International Clean Coal Technologies Summit) (2017, May 18-19), *Summit results report*. Istanbul, Turkey.
- Kim, J. H., Lee, H. S., Kim, H. H., & Ogata, A. (2010). Electro spray with electrostatic precipitator enhances fine particles collection efficiency. *Journal of Electrostatics*, 68(4), 305-310.
- Moon, J. H., Jo, S. H., Park, S. J., Khoi, N. H., Seo, M. W., Ra, H. W., ... & Mun, T. Y. (2019). Carbon dioxide purity and combustion characteristics of oxy firing compared to air firing in a pilot-scale circulating fluidized bed. *Energy*, 166, 183-192.
- Pang, L., Shao, Y., Zhong, W., Gong, Z., & Liu, H. (2020). Experimental study of NO_x emissions in a 30 kW_{th} pressurized oxy-coal fluidized bed combustor. *Energy*, 194, 116756.
- Portillo, E., Fernández, L. M. G., Vega, F., Alonso-Fariñas, B., & Navarrete, B. (2021). Oxygen transport membrane unit applied to oxy-combustion coal power plants: A thermodynamic assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105266.
- Skorek-Osikowska, A., Bartela, L., Kotowicz, J., & Job, M. (2013). Thermodynamic and economic analysis of the different variants of a coal-fired, 460 MW power plant using oxy-combustion technology. *Energy Conversion and Management*, 76, 109-120.
- TUBA-EWG (Energy Working Group) (2018), *Clean coal technologies report* (in Turkish). Turkish Academy of Sciences Publications.
- Xiong, J., Zhao, H., Chen, M., & Zheng, C. (2011). Simulation study of an 800 MWe oxy-combustion pulverized-coal-fired power plant. *Energy & Fuels*, 25(5), 2405-2415.
- White, V., Torrente-Murciano, L., Sturgeon, D., & Chadwick, D. (2009). Purification of oxy-fuel-derived CO₂. *Energy Procedia*, 1(1), 399-406.
- Yan, K., Wu, X., Hoadley, A., Xu, X., Zhang, J., & Zhang, L. (2015). Sensitivity analysis of oxy-fuel power plant system. *Energy Conversion and Management*, 98, 138-150.
- Yilmazoglu, M. Z. (2010). Pre-Combustion Carbondioxide Capture in Integrated Gasification Combined Cycles. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi; Cilt: 16 Sayı: 2; 173-179*.
- Zheng, L. (Ed.). (2011). *Oxy-fuel combustion for power generation and carbon dioxide (CO₂) capture*. Elsevier Woodhead Publishing Limited, Philadelphia, 17-31.



Assessment of Wild *R. pimpinellifolia* L. According to Mineral Content and Bioactive Compounds

Özlem Çakır^{1*}, Berivan Ergen²

^{1*} Bayburt University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Bayburt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5080-7721), ocakir@bayburt.edu.tr

² Bayburt University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Bayburt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1818-7382), berivankaynak@hotmail.com

(First received 27 May 2021 and in final form 5 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.943477)

ATIF/REFERENCE: Çakır, Ö. & Ergen, B. (2021). Assessment of Wild *R. pimpinellifolia* L. According to Mineral Content and Bioactive Compounds. *European Journal of Science and Technology*, (25), 644-649.

Abstract

In this study the characteristics of the fruits of *R. pimpinellifolia* as a naturally grown and wild species in Bayburt was investigated. The antioxidant property of this fruit was determined by using four different methods; DPPH, ABTS, CUPRAC and β -carotene bleaching method in both water and methanolic extracts. Total phenolic content and phenolic profiles were determined by FCR (Folin-Ciocalteu reagent) method and HPLC, with respect. Additionally mineral contents and some physicochemical properties were analyzed. The antioxidant activities obtained from aqueous extract as 0.56 mmol TR/g-sample for CUPRAC, 97.02% for β -carotene bleaching method, 88.65% for ABTS and 86.69% for DPPH. For the methanol extraction antioxidant activities recorded as 0.99 mmol TR/g-sample for CUPRAC, 95.21% for β -carotene bleaching method, 93.43% for ABTS and 85.21% for DPPH. Total phenolic compound level was determined as 929.27 mg GAE/100 g in aqueous extract and that was found to be higher than methanolic extract. The most dominant phenolic compounds in the *R. pimpinellifolia* were detected as chlorogenic acid, vanillic acid and gallic acid. The dominant minerals found in this wild fruit were K (12.1688 mg/ml), P (1.3429 mg/ml) and Mg (1.1926 mg/ml) whereas Cr (0.00001 mg/ml) was minimum. Consequently, black rosehip (*R. pimpinellifolia*) fruit can be suggested to be very good natural nutrient source due to its high content of phenolic compounds and minerals and important antioxidant activity and phenolic.

Keywords: *R. pimpinellifolia*; *R. spinosissima*; Mineral content; Antioxidant activity; Total phenolic content; Phenolic profile

Yabani Kara Kuşburnu (*R. pimpinellifolia* L.) Meyvesinin Mineral İçerik ve Biyoaktif Bileşenler Açısından Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışmada Bayburt ilinde doğal olarak yetişen yabani *R. pimpinellifolia* L. meyvesinin genel özellikleri araştırılmıştır. Bu meyvenin antioksidan özellikleri dört farklı yöntem (DPPH, ABTS, CUPRAC ve β -karoten ağartma) kullanılarak hem su hem de metanol ekstresinde belirlenmiştir. Toplam fenolik madde içeriği ve fenolik profili sırası ile FCR (Folin-Ciocalteu ayracı) metodu ve HPLC yardımıyla analiz edilmiştir. Bunlara ilaveten mineral madde içeriği ve bazı fizikokimyasal özellikleri ele alınmıştır. Su ekstresinde meyve antioksidan seviyeleri CUPRAC yönteminde 0.56 mmol TR/g-örnek, β -karoten ağartma yönteminde %97.02, ABTS metodunda %88.65 ve DPPH metodunda ise %86.69 olarak tespit edilmiştir. Metanol ekstresinde ise CUPRAC yönteminde 0.99 mmol TR/g-örnek, β -karoten yönteminde %95.21, ABTS metodunda %93.43 ve DPPH metodunda ise %85.21 olarak tespit edilmiştir. Toplam fenolik bileşen seviyesi ise sulu ekstresinde 929.27 mg GAE/100g olarak belirlenmiş olup bu değer metanol ekstresinde elde edilenden yüksektir. Meyvenin içerdiği fenolik bileşenler arasında en baskın olanların sırası ile klorojenik asit, vanilik asit ve gallik asit olduğu belirlenmiştir. Meyvede bulunan minerallerin arasında en yoğun olanlar sırası ile K (12.1688 mg/ml), P (1.3429 mg/ml) ve Mg (1.1926 mg/ml) olurken en az bulunan mineralin ise Cr (0.00001 mg/ml) olduğu açığa çıkartılmıştır. Sonuç olarak kara kuşburnu meyvesinin (*R. pimpinellifolia*) sahip olduğu bu özelliklerden dolayı çok iyi bir doğal besin olarak değerlendirilebileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *R. pimpinellifolia*; *R. spinosissima*; Mineral madde; Antioksidan aktivite; Total fenolik madde; Fenolik profil

* Corresponding Author: ocakir@bayburt.edu.tr

1. Introduction

Antioxidant contents and other nutritional compounds of the fruits are very important in human health and nutrition. The acid compounds of the fruits are oxidized in the metabolism quickly and do not affect the human body and health negatively. The organic acid compounds interact with heavy metal ions and decrease possible oxidation-catalyzing effects (Savran 1999). On the other hand, fruit salts have a significant role in the diet that depends on their alkaline properties and the sugar-acid ratio is one of the criteria about fruit maturity (Naveed et al. 2015). Besides, these phenolic compounds make important contributions to the taste and astringency of the fruits. They have a significant role in fruit juice producing processes and the surplus of fruit juice and wines (Cemeroglu 2018, Celik et al. 2017).

Many studies emphasize that antioxidant and total phenolic contents of the fruits make them very beneficial and essential objects for healthy nutrition and human metabolism (Guimaraes et al. 2014, da Silva et al. 2019). Especially wild grown fruits have a very significant place in this area. Rosehip and its various types can be thought as leading wild grown fruits (Oz 2016, Alp et al. 2016, Paunovic et al. 2018, Kerasioti et al. 2019).

Rosehip is a wild and natural fruit which and a kind of rose plant that exists in Rosaceae family and belongs to *Rosa* genus. *Rosa* L. (Rosaceae) contains nearly 150 sub-species that grow in the northern hemisphere. In addition to its nutrient compounds, most types of rosehip are grown as ornamental plants due to their flowers and fruits (Ercisli 2005). One of the lesser-known and non-cultivated type of rosehip is *Rosa pimpinellifolia* L. synonym *Rosa spinosissima* L., is named as black rosehip in Turkey. *R. pimpinellifolia* consists in a short shrub with an upright or slightly curved form. This plant can extend up to 1 -1,5 meters and its thorn number is very high and has an average of 7-11 oval leaflets. The fruits are hairless with black-purple color and the plant flowers in June and July. It grows in arid and rocky slopes, volcanic rocks or limestone soils at 1200-2750 m altitude. Natural distribution of *R. pimpinellifolia* throughout the world is Northwest, China, South Siberia, North Africa, North America, Asia, Europe and Anatolia (Boyd 2012). Black rosehip is spread into the high mountainous cuttings of Bayburt, Tokat, Gümüşhane, Erzurum, Kars, Van and Ağrı in Turkey (Akkemik 2018).

Although there are many studies in the literature on the antioxidant, mineral matter and total phenolic contents of wild rosehip species grown in Turkey (Murathan et al. 2016, Yildiz et al. 2018, Macit 2018, Oz et al. 2018), there are very few on *R. pimpinellifolia*. Our study differs from previous researches in that it aimed to determine more detailed biochemical properties and mineral matter contents of *R. pimpinellifolia*. In this study, phenolic contents, antioxidant activity, and nutritional properties of *R. pimpinellifolia* fruit gathered from the rustic regions of Bayburt (Turkey) were investigated. Four different methods were performed in antioxidant activity measurement. The physicochemical and pomological properties of the fruit were determined, and the results were analyzed statistically using the measurement parameters.

2. Material and Method

Bayburt is a Turkish province situated in the Eastern Black Sea Region. It is located on the 5 km east of the point where the

41 ° East longitude and 41 ° North latitude intersect, between 40 ° 15' North latitude and 40 ° 16' East longitude and its altitude is 1550 m. It is surrounded by high mountains such as Kop and Soganlı (Keskin 2000, Tarkan 1974).

The *R. pimpinellifolia* samples were collected from the rural districts of Sirakayalar village (2000-2120 m altitude) of Bayburt province in autumn season in 2017 and 2018 years. The taxonomic identification of the *Rosa pimpinellifolia* was done by Abdurrahman Sefalı (Bayburt University, Bayburt, Turkey). They were native wild and never been exposed to particular cultural processes or cultivation. The harvested samples were in the form of fully mature and have a purple-black color. After harvesting, they were carried to the laboratory immediately and some pomological and physiological measurements were made first. Secondly, kernels were stoned out and the hairs were removed quickly. The samples collected from all parts of the plants were stored at -80 °C and some of them at +4 °C until the other analysis.

In order to determine the physical properties, 20 rosehip fruits were selected randomly and the required measurements were performed for all then average value was calculated. The width and length of the fruit were measured using a digital caliper with 0.01 mm precision. Fruit mass was measured with a 0.001 g trebuchet while the determination of fruit volume was made with a water tube. Color measurement of the fruit samples was made by using Minolta CR-300 color determination device. In the results presents the black white (100: white, 0: black), a describes the red green (+: red, -: green) and b describes the yellow green (+: yellow, -: blue) colors.

Water-soluble dry matter content was measured with a digital refractometer (Model Ra 250HE, Kyoto Electronics Manufacturing Co. Ltd. Japan). The pH values of the fruits, which were first homogenized with a blender, were measured with Jenco Electronics, 6173 brand pH meter. During the measurement, the results were calculated after fixing the electrodes for about 1-2 minutes until the results become clearer. Vitamin C (Ascorbic acid) content, glucose, sucrose, and total sugar were determined with reflectometry measurement device RQflex plus 10 (MERCK, Germany). The water activity of the rosehip samples was examined with the AquaLab brand (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA). Approximately 5 g of the fruit samples were placed in specific plastic containers of the device and measured at 25 °C.

Randomly selected fruits were weighed 3 g with four repetitions on a sensitive scale and their wet weight was determined. These samples were then dried at 105 °C until they reached a constant weight and their weights were measured again on a precision balance. After the final weighing taken, the crucible remaining as a result of the dry matter was placed in the ash furnace and gradual burning was performed; 30 minutes at 250 °C, 30 minutes at 350 °C, 30 minutes at 450 °C, and finally the temperature was brought to 550 °C. It was continued to burn for about 5-6 hours until the white, gray color appeared. After incineration, the desiccator was cooled for 1 hour and the first weighing was done. It was held again at 550 °C for 30 minutes and cooled in a desiccator for 1 hour. The process was continued until the difference between weighing 1 and weighing 2 was at least 0.003.

By following the Meng et al. (2011), 100 g of the fruit samples were taken randomly from the collected fruits and homogenized by using a blender. 5 g of homogenized sample and 30 ml of 80% methanol were added into the centrifuge tube and

then the mixture is put in an ultrasonic bath for 30 minutes. Later the mixture was centrifuged for gathering the supernatant. After this process, 80% methanol was added again on to the remaining mixture, waited in the ultrasonic bath for 30 minutes and centrifuged again. This procedure was performed by using water instead of methanol as a solvent in the same way. The extracts were kept in a refrigerator at $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. After this procedure antioxidant activity and total phenolic content were determined by using a UV spectrophotometer (Shimadzu, UV-1800, Kyoto, Japan). Four different methods were performed to determine the antioxidant activity of the *R. pimpinellifolia*. Firstly, the β -carotene method was performed and the required calculations were made according to the β -carotene bleaching Method developed by Kaur and Kapoor (2002). BHA was used as standard material. Secondly, the CUPRAC method was performed according to Apak et al. (2007). In this method 1 mL CuCl_2 (1.0×10^{-2} M) and 1 mL neocuproine alcoholic (7.5×10^{-3} M) and 1 mL of 1M NH_4AC buffer (pH 7) solutions were mixed in a test tube and 0,5 mL sample extraction and 0,6 mL water were added to the mixture. Absorbance difference was determined after 30 min at 450 nm. The calibration curve was plotted using trolox (TR), and the antioxidant activity was expressed as trolox equivalent (mmol TR/g of dry matter). Thirdly, free radical scavenging activity (DPPH) was determined using the method of Gulcin (2005). In this method, the absorbance decrease corresponds to the amount of DPPH solution removed, which indicates the free radical removal activity. Inhibition value was calculated according to the absorbance change results. Fourthly, the TEAC method was performed and required calculations were made according to Re et al. (1998). The ABTS radical (2,2'-azino-bis (3-ethyl-bezothiazoline 6 sulfonate)) was composed by the reaction between 7 mM ABTS and 2.45 mM potassium persulfate solutions. Afterwards, it was left in the dark at room temperature for 12 hours. Before starting the analysis, the ABTS radical was diluted with ethyl alcohol to reach an absorbance of 0.7 ± 0.025 at 734 nm. 1 mL of ABTS solution was added onto different concentrations of the fruit extracts and incubated for 30 min in the dark. Absorbance was then read at 734 nm and inhibition is calculated. To determine the total phenolic compounds Folin-Ciocalteu method was chosen. Gallic acid is used as standard and the process was performed according to Gulcin et al. (2002). Samples were analyzed by using reverse phase HPLC with the help of a PDA detector. The method of Rodriguez-Delgado et al. (2002) was performed with some little modifications for determining the phenolic profile of the fruit. Calibration curves were composed with the help of gallic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, sinapic acid, syringic acid, trans-ferulic acid, p-coumaric acid, 4-hydroxybenzoic acid and caffeic acid standards. Samples were filtered using a $0.4\text{ }\mu\text{m}$ filter and placed in 1 mL vials for analysis. The mineral contents of the fruits were examined in Bayburt University General Research Laboratories Application and Research Center by using ICP-MS device and the results were calculated as ppb and %. All of the data obtained through these analyzes were subjected to variance analysis with One-Way ANOVA.

3. Results and Discussion

There are a few academic studies carried out on *R. pimpinellifolia* probably because it is a lesser-known type of rosehip. Due to this limitation in the literature, some of the results obtained in the current study were compared with those of other rosehip species. The pomological aspects of fruit are important as

they define its potential for attraction and visual appreciation. The size, color, shape, brightness and general appearance affects the allure and usage of the fruits. The pomological aspects of the *R. pimpinellifolia* are presented in the Table 1. It's known that the morphological and biochemical properties of the fruits depend on soil type, soil specifications, genetic aspects, and climatic conditions (Gundogdu et al. 2014). Hence, the investigated physical properties of *R. pimpinellifolia* have some significant differences compared to other rosehip types while some show similarities. For instance, the average length, width, weight of the *R. pimpinellifolia* grown in Van (Turkey) were reported as 27.40 mm, 13.60 mm and 1.95 g, respectively (Dogan and Kazankaya 2006). While the average length of our harvested samples is shorter than these, their width and weight are much more than them.

Table 1. Some physical properties of *R. pimpinellifolia*

Length (mm)	20.7 \pm 1.38	color	L*: 13.04 \pm 2.08 a* :0.86 \pm 0.81 b* :0.51 \pm 0.17
Width (mm)	21.77 \pm 1.1		
Weigh (g)	4.29 \pm 0.27		
Seed Numb.	18.9 \pm 11.37		
Volume (ml)	4.93 \pm 0.49		

Solid content, soluble solid content, ascorbic acid, pH, sucrose, glucose, total sugar, water activity, and the ash content of the fruits was examined as illustrated in Table 2. There are some nonignorable differences between the *R. pimpinellifolia* and other rosehip types. For example, soluble solid state and solid state contents of this fruit are 34.79 \pm 3.4 and 30.1 \pm 2.46 while they change between 44.74 \pm 1.17 to 51.67 \pm 2.30 (Kazankaya et al. 2005) and 14.27-24.0 (Kasun 2017) for other rosehip types.

The change of water activity, pH value and the ash content were determined as 0.91 \pm 0.01; 4.24 \pm 0.41; 3.78 \pm 0.11; respectively. These parameters were obtained as 0.692 - 0.716, 3.56 - 3.61 and 2.61% - 3.13%, respectively by Kasun (2017). Compared with this study, the results of *R. pimpinellifolia* have higher pH value and water activity and lower ash content ratio.

Table 2. Some chemical properties of *R. pimpinellifolia*

Solid state rate (%)	34.79 \pm 3.4
Soluble solid content (SSC %)	30.1 \pm 2.46
Ascorbic asid (vitamin C) g/l	828.67 \pm 56.01
pH	4.24 \pm 0.41
Sucrose (mg/L)	146.67 \pm 41.88
Glycose (mg/L)	79.33 \pm 15.14
Total sugar (mg/L)	578 \pm 30.61
Water activity	0.91 \pm 0.01
Ash content (%)	3.78 \pm 0.11

The data obtained by four different methods, namely DPPH, ABTS, CUPRAC, β -carotene bleaching method, applied to determine the antioxidant activity of the studied fruit are presented in Table 3. Free radical scavenger activity of antioxidants on DPPH appears with the decrease of absorbance level (Gulcin et al. 2004). Antioxidant activity is determined as 86.69% and 85.21% in water and methanol extracts in performing the DPPH method. By the β -carotene bleaching method, it was found 97.02% in water and 95.21% in methanol extract. The value

of the BHA which was used as standard is 93.76%. Antioxidant activity of the fruit is higher than the value of BHA. The results determined in aqueous extract were found higher than those in methanol (Macit 2016, Oz 2016). According to the results of DPPH and β -carotene bleaching methods, the antioxidant activity of *R. pimpinellifolia* is a bit higher than *Rosa canina* and conform with the previous results (Fattahi et al. 2012, Yolcu 2010, Nadpal et al. 2016, Mavi et al. 2004).

Table 3. Bioactive properties of *R. pimpinellifolia*

Extract	Aqueous	Methanolic	Significance
Total Phenolic compounds (mg GAE/100g)	929.27±14.41	743.5±21.21	**
DPPH (%)	86.69± 0.06	85.21± 0.05	**
ABTS (%)	88.65± 0.57	93.43± 1.12	**
CUPRAC (mmolTR/g-sample)	0.56± 0.33	0.99± 0.20	-
β - karoten (%)	97.02± 0.03	95.21± 0.20	**

**p<0,01 significance level

ABTS and CUPRAC methods were also used to determine antioxidant activity. Antioxidant activity was determined as 88.65% and 0.56 mmolTR/g-sample in aqueous extract and 93.43% and 0.99 mmolTR/g-sample in methanol extract. Antioxidant activity was found to be higher in methanol extract in both methods. The results are very close to the antioxidant activity of trolox, which was used as standard material. That means *R. pimpinellifolia* fruit has a very high antioxidant activity level. The antioxidant values of *R. pimpinellifolia* were reported before as 71.81 ±7.66 mgTEAC/mL and 39.15 ±5.44 mgTEAC /mL in methanol used ABTS and CUPRAC methods, respectively (Macit 2018). Phenolic compounds are thought to be the most important phytochemicals that provide antioxidant activity properties to the plants (Pizzale et al. 2002, Gulcin et al. 2004, Mavi et al. 2004, Yolcu 2010, Fattahi et al. 2012, Nadpal et al. 2016,). Total phenolic content of black rosehip fruit was determined as 929.2 mg GAE/100g in aqueous extract and 743.5 mg GAE/100g in methanol extract. This phenomenon was measured as 15226.32-41845.96 mgkg⁻¹ (in aqueous extract) (Yolcu 2010), 143.1 ±5.25 mg of GAE/g (Barros et al 2011), 2.59-5.09 mg of GAEg⁻¹ (Su et al. 2007), 815.5 mg GAE/100g (Yoo et al. 2008) and 5.42-8.21 mg GAE mL⁻¹ (Ghazghazi et al. 2010) for rosehip fruit. The total phenolic content of *R. canina* and *R. pimpinellifolia* were determined as 225.65 ±2.50 mg GA/100g and 176.4 ±2.71 mg GA/100g respectively (Fattahi et al. 2012). The values obtained in this study are much higher than those relative to the previous studies.

The phenolic profile of the fruit was determined by checking its water and methanol extracts using HPLC (Table 4). Phenolic profile was determined as chlorogenic acid, vanillic acid, gallic acid, caffeic acid in aqueous extraction and vanillic acid, chlorogenic acid, gallic acid, syringic acid, caffeic acid in methanol extraction. In the literature review, no study was found enough exhaustive to be considered for the comparison.

Table 4. HPLC results with water and methanol extraction

Phenolic Acid	Aqueous extract (ppm)	Methanolic extract (ppm)
Gallic acid	28.674	25.474
4-Hydroxibenzoic acid	nd	nd
Chlorogenic acid	53.296	52.820
Vanillic acid	49.443	60.856
Caffeic acid	4.277	3.218
Syringic acid	nd	10.046
p-Coumaric acid	nd	nd
Trans-Ferulic acid	nd	nd
Synaptic acid	nd	nd

nd: not determined

Information on the mineral content is presented in Fig. 1. Few minerals which are not seen on the figure are also investigated in the *R. pimpinellifolia* but no findings and conclusions regarding these elements have been reached. They are Fe, Li, Be, B, Ga, As, Se, Ag, In, Sn, Sb, Pt, Au, Ru, Hg, Tl and Bi. *R. pimpinellifolia* fruit was found to be rich in mineral content just like *R. canina* which is the other type of rosehip. The potassium content was the highest among the considered minerals with a concentration of 12.1688 mg/ml, followed by P, Mg, Ca, Na and Zn. The lowest amount of mineral matter was assigned to Cr with a concentration of 9.72 ppb. The content of potassium in the fruits of different rosehip species was reported in the range of 4200-1900 ppm (Kovacs et al. 2004), and the average potassium content of rosehip fruits determined as 9140 ppm (Kazaz et al. 2009). It is reported that the found concentrations can be ordered from high to low as follows: K, Mg, P, Mn, Fe, Cu, and Zn for *R. canina* (Oz et al. 2018). As it can be noticed, the results found in this study and the works in literature are similar in terms of potassium and phosphorus (Oz et al. 2018). However, the content of black rosehip fruits was found to be higher K and P amounts.

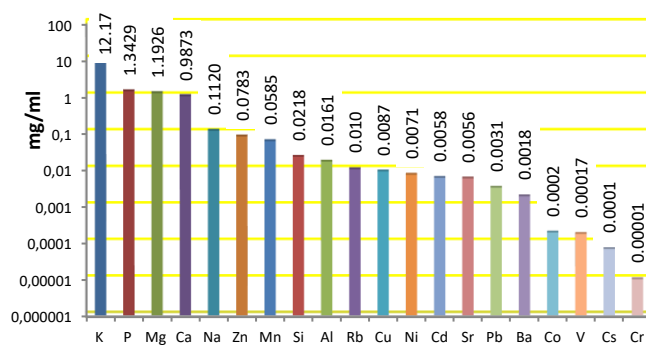


Figure 1. *R. pimpinellifolia* fruit mineral content

4. Conclusion and Recommendations

R. pimpinellifolia which is also called black rosehip, is a type of rosehip that is not very common and kept unexplored, therefore scientific studies carried out on this fruit are very few. For this reason, the data achieved by this study can make very important contributions to the literature. The main conclusions are presented as follows.

This fruit has some differences in terms of the general physical structure when compared to the commonly known red

rosehip species. In this respect, it is determined that black rosehip has an important potential in the food industry to convert products with different properties. When the available color values and the characteristics are taken into consideration, it can be deduced that this fruit can have a big importance in the food sector and be evaluated in the controversial field of food dyes. The use of this fruit instead of artificial and harmful food dyes, especially in products that appeal to children, will be an important step for healthier food products.

It was concluded that the amount of dry matter is relatively low and the amount of dry matter soluble in water is relatively high, but it overlaps with some values. Additionally, the black rosehip can be easily evaluated both in the food industry and domestic uses thanks to the chemical properties presented in this study. It is also recommended to be used as herbal tea, syrup or marmalade for disease prevention.

R. pimpinellifolia fruit has a mineral matter similar to the one present in the red rosehip, *Rosa canina*. 75.96% of the amount of mineral matter is constituted mostly by the potassium element. The amounts of phosphorus, magnesium, calcium are 8.38%, 7.44%, 6.16% respectively. The other minerals (Na, Zn, Al, Mn, Cu, Cd, Ni, Sr, Rb, Ba, Pb, V, Co, Cs, Cr, Si) were found having very small amounts with a total determined as 2.06%. This study will be the first one since there is no study on the mineral content of black rosehip fruit in the literature. Given the rich and nutritional mineral amount contained in this fruit, it is supposed to be the subject of new and various studies.

The results of our study show that *R. pimpinellifolia* fruit has an effective content in terms of total antioxidant activity. The antioxidant activity of this fruit was found to be similar to some synthetic antioxidants and even higher than them according to the results of analyzes. Therefore, it may be recommended to expand its consumption. The components of the fruit show different properties in different extractions. Considering this situation, it is thought that it may be possible to encounter different results according to extraction methods.

According to the chromatogram results, chlorogenic acid was defined as basic phenolic acid in aqueous extraction of black rosehip fruit and the ranking was as follows: chlorogenic acid> vanillic acid> gallic acid> syringic acid> caffeic acid. In the methanol extraction of the fruit, the basic phenolic substance was determined as vanillic acid. The ranking was found to be vanillic acid> chlorogenic acid> gallic acid> syringic acid> caffeic acid.

As a result, it is concluded that it will be very beneficial to determine the amount and variety of this plant which grows naturally in many locations and to increase the possibilities of its economic and social evaluation. *R. pimpinellifolia* fruit has an effective content in terms of total phenolic substance, phenolic substance profile, and total antioxidant activity and also contains significant mineral substance

References

- Akkemik, Ü., 2018. Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıkları. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara. 684.
- Alp, S., Ercisli, S., Jurikova, T., Cakir, O. and Gozlekci, S., 2016. Bioactive content of rose hips of different wildy grown *Rosa dumalis* genotypes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(2):472-476.
- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B., Berker, K.I. and Özyurt, D., 2007. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12:1496-1547.
- Barros, L., Carvalho, A.M. and Ferreira, C.F.R., 2011. Exotic fruits as a source of important phytochemicals: improving the traditional use of *Rosa canina* fruits in Portugal. *Food Research International*, 44:2233-2236.
- Boyd, P.D.A., 2012. *Rosa spinosissima* - aspects of its natural history and associations with people from prehistory to the present day. World Federation of Rose Societies 12th International Heritage Rose Conference, Sakura, Japan.
- Celik, F., Gundogdu, M., Alp, S., Muradoglu, F., Ercisli, S., Gecer, M. and Canan, I., 2017. Determination of phenolic compounds, antioxidant capacity and organic acids contents of *Prunus domestica* L., *Prunus cerasifera* Ehrh. and *Prunus spinosa* L. fruits by HPLC. *Acta Chromatographica*, 29(4):507-510.
- Cemeroglu, B. S. 2018. Meyve ve sebze işleme teknolojisi, 7th edn. Bizim Büro Basımevi, Ankara
- da Silva, A. P., Spricigo, P. C. & Purgatto, E., 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 Human Nutrition*, 74, 358-363.
- Dogan, A. and Kazankaya, A., 2006. Fruit properties of rose hip species Grown in Lake Van basin (Eastern Anatolia Region). *Asian Journal of Plant Science*, 5, 120-122.
- Ercisli, S., 2005. Rose (*Rosa* spp.) germplasm resources of Turkey. *Genetic Resource Crop Evaluation*, 52, 787-795.
- Fattahi, S., Jamei, R., and Sarghein, S. H., 2012. Antioxidant and antiradical activities of *Rosa canina* and *R. pimpinellifolia* fruits from fest Azerbaijan Iran. *Journal of Plant Physiology*, 2(4): 523-529.
- Ghazghazi, M., Miguel, M.G., Hasnaoui, B., Sebei, H., Ksontini, M., Figueiredo, A.C., Pedro, L.G. and Barroso, J.G., 2010. Phenols, essential oils and carotenoids of *Rosa canina* from Tunisia and their antioxidant activities. *African Journal of Biotechnology*, 9(18):2709-2716.
- Guimaraes, R., Barros, L., Calhelha, R. C., Carvalho, A. M. and Queiroz, M.J.R.P., 2014. Bioactivity of different enriched phenolic extracts of wild fruits from northeastern Portugal: a comparative study. *Plant Foods Human Nutrition*, 69, 37-42.
- Gulcin, I., 2005. The Antioxidant and radical scavenging activities of black pepper (*Piper nigrum*) seeds. *International Journal of Food Science Nutrition*, 56, 491-499.
- Gulcin, I., Mshvildadze, V. and Gepdiremen, Elias R., 2004. Antioxidant activity of Saponins isolated from ivy: a-hederin, hederasaponin-c, hederacolchiside e and hederacolchiside F. *Planta Medica*, 70:561-563.
- Gulcin, İ., Oktay, M., Kufrevioglu, I., and Aslan, A., 2002. Determination of antioxidant activity of lichen *Cetraria islandica* (L) Ach. *Journal of Ethnopharmacology*, 79(3): 325-329.

- Gundogdu, M., Ozrenk, K., Ercisli, S., Kan, T., Koda, O. and Hegedus, A., 2014. Organic acids, sugars, vitamin C content and some pomological characteristics of eleven hawthorn species (*Crataegus* spp.) from Turkey. *Biological Research*, 47, 1-5.
- Kasun, S., 2017. Determination of total phenolic content, phenolic composition, antioxidant capacities and some physicochemical features of rosehip (*Rosa canina*) and hawthorn (*Crataegus orientalis*) wild fruits growing in the region of Tunceli. Dissertation, Tunceli University, Tunceli, 115.
- Kaur, C. and Kapoor, H. C., 2002. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some asian vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(2):153-161.
- Kazankaya, A., Turkoglu, N., Yilmaz, M. & Balta, M. F., 2005. Pomological Description of *Rosa canina* Selections from Eastern Anatolia, Turkey. *International Journal of Botany*, 1, 100-102.
- Kazaz, S., Baydar, H., and Erbas S. 2009. Variations in chemical compositions of *Rosa damascena* Mill. and *Rosa canina* L. fruits. *Czech Journal of Food Science*, 27(3): 178-184.
- Kerasioti E, Apostolou A, Kafantaris I, Chronis K, Kokka E, Dimitriadou C, Tzanetou EN, Priftis A, Koulocheri SD, Haroutounian SA, Kouretas D. and Stagos D., 2019. Polyphenolic composition of *Rosa canina*, *Rosa sempervivens* and *Pyrocantha coccinea* extracts and assessment of their antioxidant activity in human endothelial cells. *Antioxidants (Basel)*. 6:8(4):92.
- Keskin, T., 2000. İl Oluşunun 10. Yılında Bayburt Tarihi, Bayburt Valiliği Yayınları, Bayburt, s.1
- Kovacs, S., Facsar, G., Laszlo, U. & Toth, M., 2004. Phenological, morphological characteristics of some rose species found in Hungary. *Acta Horticulture*, 690, 71–76.
- Macit, M., 2018. Determination of amounts and bioefficacy of phenolic compounds in roots of *Rosa canina* L. and *Rosa pimpinelifolia* Dissertation, İstanbul University, İstanbul, 92.
- Mavi, A., Terzi, Z., Ozgen, U., Yildirim, A. and Coskun, M., 2004. Antioxidant properties of some medicinal plants: *Prangos Ferulacea* (Apiaceae), *Sedum Sempervivoides* (Crassulaceae), *Malva Neglecta* (Malvaceae), *Cruciata Taurica* (Rubiaceae), *R. pimpinellifolia* (Rosaceae), *Galium verum* subsp. (Rubiaceae), *Urtica dioica* (urticaceae). *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 27(5):702-705.
- Meng, J., Fang, Y., Zhang, A., Chen, S., Xu, T., Ren, Z., Han, G., Liu, J., Li, H., Zhang, Z. and Wang, H., 2011. Phenolic content and antioxidant capacity of Chinese raisins produced in Xinjiang province. *Food Research International*, 44, 2830–2836.
- Murathan, Z. T., Zarifikhosroshahi, Kafkas, E. and Sevindik, E., 2016. Characterization of bioactive compounds in rosehip species from east Anatolia region of Turkey. *Italian Journal of Food Science*, 28, 314-325.
- Nadpal, J.D., Lesja, M., Sibul, F.S., Anac̆kov, G T., C̆etojevic, Simin D.D., Mimica-Dukic, N.M. and Beara, I.N., 2016. Comparative study of biological activities and phytochemical composition of two rose hips and their preserves: *Rosa canina* L. and *Rosa arvensis* Huds. *Food Chemistry*, 192, 907-914.
- Naveed, A., Farooq, A. and Anwar-ul-Hassan, G., 2015. Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety. In: Victor R (ed) *Rose Hip (Rosa canina L.) oils*, 1st edn. Academic Press, Elsevier, England. 76, 667–675.
- Oz, M., 2016. The analysis of essential oil and biological activities from the flower, leaf, stem and fruit of rosehip species *Rosa pimpinelifolia* and *Rosa canina* L. Dissertation, Karadeniz Technical University, Trabzon, 192.
- Oz, M., Baltacı, C. and Deniz, I., 2018. The Analysis of Sugar and Vitamin C in Rosehip (*Rosa canina* L.) and Black rosehip (*Rosa pimpinelifolia*) Fruits of Gümüşhane Region. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*, 8(2):284-292.
- Paunovic, D., Kalusevi, A., Petrovic, T., Urosevic, T., Djinovic, D., Nedovic, V. and Popovic-djordjevic, J., 2018. Assessment of chemical and antioxidant properties of fresh and dried rosehip (*Rosa canina* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1):108-113.
- Pizzale, L., Bortolomeazzi, R., Vichi, S., Uberegger, E. and Conte, L.S., 2002. Antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* and *S. fruticosa*) and oregano (*Origanum onites* and *O. indicedens*) extracts related to their phenolic compound content. *Journal Science Food and Agriculture*, 82, 1645-1651.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice Evans, C., 1998. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231–1237.
- Rodriguez-Delgado, M. A., Malovana, S., Perez, J. P., Borges, T. and Garcia Montelongo, F. J., 2001. Separation of phenolic compounds by high-performance liquid chromatography with absorbance and fluorimetric detection. *Journal of Chromatography A*, 912(2):249-257.
- Savran, H. S., 1999. Organic acid profile of pomegranate juice. Dissertation, Ankara University, Ankara, 46.
- Su, L., Yin, J. J., Charles, D., Zhou, K., Moore, J. and Yu, L. L., 2007. Total phenolic contents, chelating capacities, and radical-scavenging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip cinnamon and oregano leaf. *Food Chemistry*, 100 (3): 990–997.
- Tarkan, M. T., 1974. Bayburt'un Ekonomik Olanakları ile Bu Olanakların Kalkınma Alanındaki Önem Dereceleri. *Edebiyat Fakültesi Araştırma Dergisi*, 5, 83-88.
- Yildiz, H., Cakır, O., Karatas, N., Oguz, H. I, Ciniviz, M. and Sasmaz, H. K., 2018. Polyphenol profile and antioxidant activity of some wild fruit in Turkey. The 4th Int. Symposium on Traditional Foods from Adriatic to Caucasus, Kyrenia / Northern Cyprus.
- Yolcu, H., 2010. Changes of antioxidant properties in rosehip pulp, Dissertation, Ondokuz Mayıs University, Samsun, 87.
- Yoo, K. M., Lee, C. H., Lee, H., Moon, B. and Lee, C. Y., 2008. Relative antioxidant and cytoprotective activities of common herbs. *Food Chemistry*, 106(3):929-936.



Kamu Kurumlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun İşveren, İşveren Temsilcisi veya Çalışan Temsilcileri Tarafından Uygulanmasının Değerlendirilmesi

Şenol Yavuz^{1*}, Berna Gür²

^{1*} Hitit Üniversitesi, Osmancık Ömer Derindere Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Çorum, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6261-9296), senolyavuz@hitit.edu.tr

²Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Çorum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0674-4612), bernagur@hitit.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 May 2021 ve Kabul Tarihi 5 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.940303)

ATIF/REFERENCE: Yavuz, Ş. & Gür, B. (2021). Kamu Kurumlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun İşveren, İşveren Temsilcisi veya Çalışan Temsilcileri Tarafından Uygulanmasının Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 650-656.

Öz

Türkiye'de İSG Kanun kapsamında az tehlikeli sınıfta yer alan iş kollarından biri de ofis ortamlarının çoğunlukta olduğu üniversite fakülte ve MYO'larıdır. Üniversitelerde akademik ve idari personeller görev yapmaktadır. Üniversitelerin genellikle az tehlikeli sınıfta yer alması, iş kazası ve meslek hastalıkları istatistiklerinin az olması gibi nedenlerden İSG ile ilgili çalışmalar tam anlamıyla uygulanmamaktadır. Çalışmada Hitit Üniversitesinde fakülte ve MYO'larda işveren, işveren temsilcisi ve çalışan temsilcisi olarak görev yapanlar tarafından İSG Kanunu'nun uygulamasının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın örneklem grubunda yer alan kişi sayısı az olduğundan çalışmanın yöntemi nitel veri toplama araçlarından biri olan odak grup görüşmesi olarak belirlenmiştir. Odak grup görüşmesinde sorulacak sorular belirlenirken fakülte ve MYO'larda gözlemlenen İSG çalışma ve uygulamaları dikkate alınmıştır. Verilen cevaplar değerlendirildiğinde işveren, işveren temsilcisi ve çalışan temsilcilerinin İSG Kanunu'ndan ve kendi yükümlülüklerinden haberdar oldukları ancak İSG çalışmalarının tam anlamıyla yapılmadığı, yapılan çalışmalara hâkim olunmadığı ve İSG sürecinin takibinin yapılmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hitit Üniversitesi, İşveren/işveren vekili, İş sağlığı ve Güvenliği, Odak Görüşmesi, Çorum.

Evaluation of the Implementation of the Occupational Health and Safety Law in Public Institutions by Employer, Employer Representative or Employee Representatives

Abstract

One of the business lines in the less dangerous class in Turkey under the OHS Law is university faculties and vocational colleges where office environments are predominant. Academic and administrative staff work at universities. Studies on OHS are not fully implemented due to reasons such as the fact that universities are generally in the less dangerous class and the statistics of occupational accidents and occupational diseases are low. In the study, it is aimed to evaluate the implementation of the OHS Law by those who work as employer, employer representative and employee representative in faculties and vocational schools in Hitit University. Since the number of people in the sample group of the study is low, the method of the study was determined as the focus group interview, which is one of the qualitative data collection tools. While determining the questions to be asked in the focus group meeting, OHS studies and practices observed in faculties and vocational colleges were taken into consideration. When the answers given were evaluated, it was determined that the employer, employer representative and employee representatives were aware of the OHS law and their own obligations, but OHS studies were not fully carried out, the work was not mastered and the OHS process was not followed.

Keywords: Hitit University, Employer / Employer Representative, Occupational Health and Safety, Focus Meeting, Çorum.

* Sorumlu Yazar: senolyavuz@hitit.edu.tr

1. Giriş

İş sağlığı ve güvenliğinin düşünce olarak gelişme amacı; insanlığın oluşumundan başlayıp hayatın her evresinde güvenli olarak beslenme, barınma ve çalışma imkânının sağlanması ile ortaya çıkması sonucu gelişim göstermektedir. Çeşitli faaliyetlerde bulunulması sırada istenmeyen durumlardan kaçınmak üzere yapılan eylemlere iş sağlığı ve güvenliği denilmektedir (Terzioğlu & Aksungur, 2019). İş sağlığının gelişimini sağlayan ana faktör sağlık alanındaki gelişmeler ve çalışma ortamı sırasında çalışanlarda tespit edilen hastalıklar olmuştur. Sanayileşme ile birlikte iş faktörü kaynaklı hastalıklar görülmeye başlanmıştır (Aktan & Işık, 2007). İş sağlığı ve iş güvenliği kavramları uygulamada birbirinden ayrılmaktadır. İş Sağlığı, sağlık standartlarına uygun olarak çalışanlara sağlıklı ortam ve çevre sağlanması iken iş güvenliği ise çalışanların vücut bütünlüğü bozacak, yaşamsal olaylarını etkileyecek işyeri ortamındaki tehlike ve risklerin belirleyerek çalışma ortamının güvenliğinin sağlanmasıdır (Hekimler, 2012). Çalışma ortamındaki tehlike ve risklerin tespit edilmesinde, iş kazaları meslek hastalıklarının önlenmesinde iş sağlığı ve iş güvenliğinin beraber uygulanması ve bu amaç doğrultusunda kullanılacak araç ve gereçlerin iş hukuku ile teminat altına alınır (Bayram, 2005; Çakan & Yavuz, 2020).

Günümüzde iş sağlığı ve güvenliği, çalışanların sosyal, bedensel ve ruhsal yönden koşullarının tam iyilik halinin gösterilmesidir. İyilik halinin sürdürülmesi, işveren tarafından uygulanma hedefi olması, çalışanların benimsemesi ile işyerinde iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı koruyucu proaktif yaklaşımlar kazanılmış olur (Çiçek & Öçal, 2016; Kabakçı, 2009).

Uluslararası kuruluşların iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili verdiği öneriler, yaptığı konferanslar, ülkelerin bu öneriler doğrultusunda yaptığı çalışmalar ile gelişmesi ve uygulanması daha kolay olmaktadır. Bu kuruluşlar içerisinde %80 oranı ile en fazla rolü Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) üstlenmektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), çalışan yaşı, işyeri teftişi, işyeri hekimliği, güvenlik ve radyasyondan korunma, ortam ölçümleri konularda antlaşmaların yapılmasında rol almıştır (Aktan & Işık, 2007; Şen, 2015).

Batılı ülkelerin aksine Türkiye İş sağlığı ve güvenliğinin hukuki gelişimi daha geç olmuştur. Spesifik bir alana sahip olmadığından İş Kanununun, Borçlar Kanunu'nun ve anayasanın içerisinde yer alarak uygulanmasına çalışılırken 2012 yılında çıkarılan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile kendine özgü bir kanun ile uygulama alanı bulmuştur (Süzek, 2012; Aytekin, 2012).

İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili kurallar ve esaslar, ulusal mevzuatta anayasa ile güvence altına alınarak çeşitli kanun ve yönetmelikler ile uygulanması sağlanmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğinin uygulanmasını sağlayan başlıca kanun ve yönetmelikler şunlardır (Terzioğlu & Aksungur, 2019; Süzek, 2012);

- 1- Anayasa,
- 2- 6098 Sayılı Borçlar Kanunu,
- 3- Güncel 4857 Sayılı İş Kanunu,
- 4- 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu,
- 5- İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili Yönetmelikler,
 - Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği,
 - İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri Yönetmeliği,
 - İşyerlerinde İşin Durdurulması İle İlgili Yönetmelik,

- Ekranlı Araçlarla Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik,
- İşyerlerinde İşin Durdurulmasına Dair Yönetmelik,

30 Haziran 2012 yılında resmî gazete yayımlanarak yürürlüğe giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na göre iş kazası şu şekilde ifade edilmektedir: “*Çalışan sigortalının işyerinde ve işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen özre uğratan olaydır*” (6331 3/g). İş kazası, 6331 sayılı yasanın daha fazla 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun 13.maddesinde daha ayrıntılı ifade edilerek iş kazalarının detayları vurgulanmıştır (Cengiz, 2018).

İş kazası, meslek hastalığı ile beraber literatürde “mesleki risk” olarak gruplandırılarak ilk defa 19.yy ın ikinci yarısında ifade edilmiş ve gelişmeye başlamış bir kavramdır (Güzel, Okur & Caniklioğlu, 2016). Teknoloji ile birlikte yeni yöntemler, makineler ve kullanılan maddelerden kaynaklı çeşitli iş kazaları ve meslek hastalıkları farkedilmese dahi sayısı yükselmeye başlamıştır. Gelişen süreçte, ilk olarak 1884 de iş kazası sigortası ve meslek hastalığı sigortası Almanya'da tanımlanarak çalışanların sosyal güvenlik yönünden korunması, güvence alınması yönünde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Tuncay & Ekmekçi, 2016; Yılmaz, 2017).

1897 yılında Birleşik Krallıkta İş Tazminatı Kanunu kabul edilerek kişisel olarak kayıp yaşayan çalışanların hakları korunmaya çalışılmış, dünya da ilk defa uygulanan ikinci iş kazası sigortası olması açısından kronolojik olarak tarihteki yerini almıştır. Bu kanuna göre, çalışan kazaya maruz kalması, iki hafta olarak iş kaybı yaşaması veya ölmesi halinde işverenin tazminat ödemesi gerektiği hükümü yer almaktadır (Yılmaz, 2017; Fabian Society, 1901).

İş kazası ve meslek hastalığı ile ilgili olarak çalışanların korunması ve güvence altına alınması tarihsel bir süreç içerisinde yapılan düzenlemeler ile günümüzde Avrupa da ve Türkiye de son halini alarak uygulanmaya çalışılmaktadır. Zaman içerisinde eksik kalan ve ilave edilmesi gereken hususlar yönetmelikler ile düzeltilmeye çalışılmaktadır. Ülkemizde 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası (SSGSSK) ile uygulanmaya çalışılmaktadır. 5510 sayılı yasanın 13. Maddesi iş kazaları, 14. Maddesi ise meslek hastalıklarıyla ilgili hükümler ile çalışanları güvence altına almaya çalışılmaktadır (Yılmaz, 2017). 5510 sayılı yasaya göre iş kazası;

“a) Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada,

b) İşveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle,

c) Bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda,

d) Bu Kanununun 4'üncü maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi kapsamındaki emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda,

e) Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş geliş sırasında, meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen engelli hâle getiren olay” olarak ifade edilmektedir (Yılmaz, 2017; Güzel, Okur & Caniklioğlu, 2016).

5510 sayılı yasa göre meslek hastalığı ise; “Meslek hastalığı, sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal özürsüzlük halleridir” diye tanımlanmaktadır (SSGSSK, 2006; Ilıman, 2015).

İş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi, devlet, işveren ve çalışan oluşan üçlü yapının görevlerini yerine getirmesi, denetimlerin yapılması ve yasalar ile çalışanın güvence altına alınması ile mümkün olmaktadır (Ilıman, 2015).

İşverenin başlıca görevleri şunlardır;

- ✓ İşveren, 6331, 5510 ve 4857 sayılı kanunlardaki görev, sorumluluk ve yaptırımlarına hâkim olmalı (Terzioğlu & Aksungur, 2019),
- ✓ Çalışan sayısı elliyi geçiyor ve işin süresi altı aydan fazla ise işyerinde bir iş sağlığı ve güvenliği kurulu kurmalı, kurulun çalışmasını ve belirli aralıklardaki toplantılarının yapılmasını sağlamalı (Boz Eravcı, 2019),
- ✓ Çalışanlarına ilk işe girişte, iş değişikliğinde, iş kazası ve meslek hastalığı geçirdikten sonra işbaşı yaparken ve belli sürelerde verilmesi gereken iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini vermeli, iş alakalı yeni proses, yeni makine alımında o iş ile alakalı tehlike ve risklere karşı çalışanlarını eğitmelidir (Kökten & Avinç, 2014; Kurt & 2012),
- ✓ İş kazalarını ve meslek hastalıklarını resmi üç iş günü içerisinde bildirerek düzenleyici önleyici faaliyetlerde bulunması gerekir,
- ✓ İşyerinde iş sağlığı kültürünün oluşmasını ve İSG nin bir yaşam biçimi olarak çalışanlarına kazandırması gerekir,
- ✓ Çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliğine uyumunu ölçen performans değerlendirmesi yapmalı (Üngören & Koç, 2015),
- ✓ İşin yürütümü sırasında çalışanlarının maruz kalacağı tehlike ve risklere karşı, çalışanlarının güvenliğini sağlamak için risk değerlendirmesi yapmalıdır (Akpınar & Çakmakkaya, 2014),
- ✓ İşveren, İş sağlığı ve güvenliği hizmetlerini sağlamak üzere işyeri hekimi ve iş güvenliği uzmanı görevlendirmelidir (Etöz & Tulga, 2015).
- ✓ Çalışanlara iş ile alakalı gerekli araçlar ve kişisel koruyucu donanımları temin etmeli,
- ✓ Acil durumlara karşı gerekli önlemleri almalı, tatbitat yapmalı ve acil durum ekiplerini oluşturmalıdır.
- ✓ Çalışanların katılımının sağlandığı bir iş sağlığı ve güvenliği sistemi sağlamalıdır (Erol, 2015).

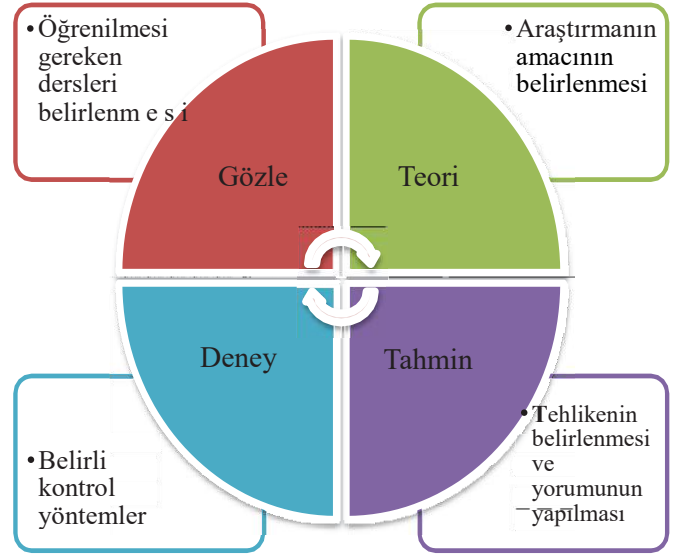
İşverenin görev ve yükümlülüklerinin yanısıra çalışanların da yapması gereken görevleri ise şunlardır (Erol, 2015);

- ✓ İşyerinde kullandığı araç ve gereçleri kullanırken dikkat etmeli,
- ✓ Makine ve el aletlerini kullanırken güvenlik aksamalarını çıkarmamalı,
- ✓ Kendilerine temin edilen kişisel koruyucu donanımları doğru kullanmalı ve korumalıdır.
- ✓ Çalışma ortamında, işin yürütümü sırasında kendilerini tehlikeye sokacak çeşitli durumlar ile karşılaşmaları durumunda, bir eksik görmeleri halinde işverene veya çalışan temsilcisine haber vermelidir.
- ✓ İşveren tarafından verilen İş sağlığı ve güvenliği eğitimlerindeki kurallara uymalı, işletmeye zarar verici eylemlerden sakınmalıdır.

- ✓ İşveren ve çalışan temsilci ile beraber müşterek çalışmaya özen göstermelidir.

İş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşması ve insanlarda İSG bilincinin oluşumunda üniversitelerin rolü büyüktür. İş kazalarına ve meslek hastalıklarına yol açan tehlike ve risklerin analiz edilmesinde yeni yöntemler geliştirmesi, yeni yöntem ve medotların oluşumunda sahip olduğu akademisyenleri sayesinde rol model olmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği alanında kalifiye insanların yetişmesinde, konferans ve kongrelerle İSG yi anlatarak çalışanlar üzerinde farkındalık oluşturmaktadırlar Tehlike ve risklerin analiz edilerek iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesinde şekil 1’deki bilimsel yöntem integrasyonu önemli yer teşkil etmektedir (Şensöğüt, 2018).

Şekil 1: Tehlike analizinin bilimsel yöntem ile integrasyonu (Şensöğüt, 2018).



Üniversiteler sahip oldukları araştırmacı kadrosu ve altyapısı ile çalışma ortamındaki tehlikeleri bilimsel yollar ile kaynağında kontrol ederek koruyucu yaklaşımlar geliştirmesini sağlayacak kurumlardır (Şensöğüt, 2018; Gür & Yavuz, 2020).

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırmanın Amacı

Çalışmanın amacı; Hitit Üniversitesi’nde bulunan fakülte ve meslek yüksekokullarında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanun’un işveren, işveren temsilcisi veya çalışan temsilcisi tarafından uygulanmasının değerlendirilmesidir. Toplanan veriler çalışmanın amacı doğrultusunda analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir.

2.1.1. Araştırmanın Deseni

Çalışmanın örnekleme 2 fakülte ve 2 meslek yüksekokulunda işveren, işveren temsilcisi ve çalışan temsilcileri görevlerinde bulunan kişilerdir. Çalışmada örnekleme sayısının az olmasından dolayı veriler, görüşme yönteminin temel alındığı nitel araştırma yöntemlerinden olgu bilim deseniyle yapılmıştır. Bu yöntemle işveren, işveren temsilcisi veya çalışan temsilcilerinin İSG kanun kapsamında yükümlülüklerini ne kadar bildikleri ve bu yükümlülükleri yerine getirme durumları belirlenmeye çalışıldı.

2.1.2. Katılımcılar

Araştırmanın evrenini Hitit Üniversitesi'nde bulunan fakülte ve meslek yüksekokullarındaki işveren, işveren temsilcisi ve çalışan temsilcileri oluşturmaktadır. Çalışmanın örnekleme ise; 2 fakülte ve 2 meslek yüksekokulunda işveren, işveren temsilcisi ve çalışan temsilcileri oluşturmaktadır. Çalışmaya katılmayı kabul eden sekiz işveren, işveren temsilcisi veya çalışan temsilcisiyle yarı yapılandırılmış görüşme yapılmıştır. Bu çalışmaya

katılanlardan biri kadın, yedisi erkektir. Çalışmaya katılan kadın işveren temsilcisi K1; erkek işveren, işveren temsilcisi veya çalışan temsilcileri E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 olarak kodlanmış ve isimler verilmemiştir. Çalışmaya katılan demografik özellikleri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Demografik özellikler

Çalışan	1	2	3	4	5	6	7	8
Yaş	35	34	47	53	36	30	43	49
Eğitim durumu	Yüksek lisans	Yüksek lisans	Doktora	Lisans	Doktora	Lisans	Lisans	Lisans
Çalışma süresi (yıl)	1	1	1	11	5	1	17	20
Cinsiyet	Kadın	Erkek	Erkek	Erkek	Erkek	Erkek	Erkek	Erkek
Medeni durum	Evli	Evli	Evli	Evli	Evli	Evli	Evli	Evli
Çalışılan birim	MYO	MYO	MYO	MYO	Fakülte	MYO	Fakülte	Fakülte

2.1.3. Veri Toplama Aracı

Çalışmaya başlamadan önce Hitit Üniversitesi'nde fakülte ve meslek yüksekokulunda iş sağlığı ve güvenliği çalışmaları gözlemlenerek notlar alınmıştır. Gözlemler sonucunda alınan notlar doğrultusunda İSG Kanun'unda işveren yükümlülükleriyle ilgili konular belirlenerek, odak grup görüşme soruları belirlenmiştir. Çalışma yapılmadan önce Hitit Üniversitesi rektörlüğünden çalışmanın uygulanması için izin alınmıştır. Örneklemedeki kişilerle görüşmeden önce kişilere çalışma konusunda ve amacında bilgi verildi. Böylece sorulara kendilerini rahat hissederek objektif cevap vermeleri sağlanmıştır. Görüşmeye başlamadan önce sorulara verilen cevapların olduğu gibi aktarılması ve eksikliklerin olmaması için görüşmenin ses kaydının yapılması gerektiği ifade edilmiştir. Ses kaydının alınması için kişilerden sözlü olarak izin alınmıştır. Kayıt altına alınan cevaplar değiştirilmeden yazıya dönüştürülmüştür. Görüşmeler ortalama 35-45 dakika arasında olmuştur.

2.1.4. Veri Analizi

Hitit Üniversitesi'nde fakülte ve meslek yüksekokulunda 6331 sayılı iş sağlığı ve kanunu kapsamında işveren, işveren temsilcisi veya çalışan temsilcisi olarak çalışanların yükümlülükleri hakkındaki bilgilerini tespit etmek için yapılan odak görüşme sonucu toplanan veriler analiz edilmiştir. Yazıya aktarılan veriler konuya bağlı olarak kategori listeleri halinde verilerek okuyucuya daha anlamlı hale gelmesi sağlanmıştır.

2.1.5. Araştırmanın Etik Boyutu

Bu çalışmaya başlamadan önce, Hitit Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 2020-78 şaşıvuru numarası ile 30. 04. 2021 toplantı tarihli 2021-66 sayılı karar numarası ile etik izni ve 12.01.2021 tarihli ve E-1014-900-2100001452 sayılı yazı ile Hitit Üniversitesi Rektörlüğünden izin alınarak çalışmaya başlanmıştır.

3. Bulgular

Yapılan odak grup görüşmesinde verilen cevaplar gözden geçirilerek aşağıdaki soru başlıkları oluşturulmuştur.

S1: Biriminizde çalışan sayısı kaçtır?

Aynı kurumda görev yapan K1 kişisi "62 akademik ve 9 idari personelimiz" bulunmaktadır derken E2 kişisi "60 akademik ve 10 idari personelimiz var. Bunların bir kısmının kadrosu bu birimde olmasına rağmen başka birimlerde görev yapan akademisyenlerimizde vardır" cevabını vermiştir.

E3 kişisi kendi biriminde "32 akademik, 8 idari, 4 temizlik ve 5 güvenlik görevlisi" cevabını verirken E5 kişisi "32 akademik, 18 idari personel olmak üzere toplam 50 personelimiz vardır" demiştir.

Farklı birimlerde görev yapan E4 kişisi "85 akademik ve 16 idari personel", E6 kişisi "200'e yakın personelimiz var. Bunlardan 180 kişi akademik, 20 kişi idari personeldir. Üniversitede en fazla personele sahip birimiz", E7 kişisi "80 akademik ve 40 idari olmak üzere toplam 120 çalışmamız vardır" cevabını verirken E1 kişisi ise "18 öğretim elemanı ve 3 idari personelimiz vardır" cevabını vermiştir.

S2: Biriminizde iş güvenliği uzmanı, iş yeri hekimi, İSG kurulu ve çalışan temsilcisi var mı? Bu görevlerdeki kişilerin kim olduğunu biliyor musunuz?

K1 kişisi "İş güvenliği uzmanımız var. İsmi, iş yeri hekimi ve çalışan temsilcilerinin kim olduğunu bilmiyorum. İSG kurulumuz var burada görevli kişiler olduğunu biliyorum ama tam olarak kimler var şu an hatırlamıyorum" cevabını, E2 kişisi "iş güvenliği uzmanımız var, iş yeri hekimi bulunmamaktadır. Çalışan temsilcisi olarak görevlendirdiğimiz kimse yok. Birimimizde çalışan temsilcisine çokta ihtiyaç yok, çalışanlar bir problemde direk bizimle iletişime geçebiliyorlar" cevabını vermiştir. E1 kişisi "Birimimizde iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi, İSG kurulu ve çalışan temsilcisi yok" cevabını, E4 kişisi ise "İş güvenliği uzmanımız var, ismi..... İş yeri hekimi yok. Çalışan temsilcisi olarak ben görev yapıyorum, İSG kurulumuzda var ve her 3 ayda bir düzenli olarak toplanmaktadır." ifadesini kullandı.

S3: Biriminiz İSG kapsamında hangi tehlikeli sınıfta yer almaktadır? Biriminizin İSG Kanun kapsamında olması ve öğrencilerin bu kapsam dışında yer almasıyla ilgili görüşleriniz nelerdir?

E1 kişisi "Fabrikalara kıyasla birimizin az tehlikeli sınıfta yer aldığını düşünüyorum. Ofis ortamında bile 8 saat oturarak

çalışmak kişilerde ergonomik açıdan meslek hastalığına sebep olabilir. Bu yüzden İSG koruyucu sağlık hizmetlerini de içinde bulunduğu İSG Kanun kapsamında birimizin de yer alması doğrudur. Öğrenciler yasalara dahil edilmese de İSG dersini vererek onları bilinçlendirme yoluna gidiyoruz” derken, E4 kişisi “Birimiz az tehlike sınıfında yer almaktadır. Az tehlikeli sınıfta yer alsak da yine de bir risk her zaman var. Riske karşı önlemlerde ancak yasalarla sağlandığından kanun kapsamında olmamız doğrudur. Öğrencilerin ise kanun kapsamının dışında olması bence doğru. Öğrenci potansiyelinin fazla olduğu bu tür birimlerde öğrencilerin kanun kapsamına alınması bizim iş yükümüzü çok artırır” cevabını verirken E6 kişisi ise “Birimiz az tehlikeli sınıfta yer alıyor. Sağlık hizmetleri devlet hastanesinde gerçekleşiyor, bu binada sadece idari işler yürütüldüğünden az tehlikeli sınıfta yer sayılması doğrudur. Bizim birimizde öğrenciler sağlık sektöründe öğrenim gördüğünden kanun kapsamında yer alması gerekir” cevabını vermiştir.

S4: Biriminizde en tehlikeli alanlar nereleridir? Biriminizin risk değerlendirilme analizi var mı?

E2 kişisi “Burada en tehlikeli alan teras katı, elektrik hatlarının olduğu bölgelerdir. Atölyelerde de yüksek enerjili elektrikle çalışan kısımlar olduğundan potansiyel tehlike içerir. Ancak kurallara dikkat edilirse sıkıntı olmaz. Risk değerlendirme analizinin olup olmadığını bilmiyorum ama gündemimizde sorunlu yerler var. Birkaç birimle ortak kullandığımız alanlar var, buralarda çalışan birden fazla İSG uzmanı olması uygun değil” cevabını verirken, E3 kişisi “En tehlikeli alanımız bahçemiz. Çapa makinasından eli ya da parmağı kopan vaka olabilir. Bunun içinde personele işe uygun eğitim aldırık. Risk değerlendirilmesi belirli periyotlarda yapılmaktadır. En son bir ay önce revizesi yapıldı” ifadesini kullanmıştır.

E7 kişisi “Kazan dairesi en tehlikeli alanımızdır. Birde yemekhane en alt katta olduğundan herhangi bir patlama veya yangından üst katlarda etkilenebilir. Bu da tehlike oluşturabilir. Risk değerlendirilmesi yapıldı ve belirli periyotlarla tekrar yapılmakta ve dokümanları mevcut” cevabını verirken, E6 kişisi ise “Tehlikeli alanımız yok. Risk değerlendirme analizi yapıldığını hatırlıyorum ama hangi yılda yapıldığını hatırlayamadım” cevabını vermiştir.

S5: Çalışanlarımızın işe giriş raporu var mı? Çalışanlarımıza İSG eğitimi verildi mi?

K1 kişisi “2016 yılında yapılan 8 saatlik bir İSG eğitimi yapıldı. Daha sonra verilen bir eğitim hatırlamıyorum. Göreve yeni başlayan personelden alınıp alınmadığını ve bu konuda yasal zorunluluk var mı bilmiyorum” cevabını verirken, E5 kişisi “Çalışanların sağlık raporu olup olmadığını hatırlamıyorum. Ama alınması gerektiğine inanıyorum. İSG eğitimi yeni başlayanlara veriliyor. Diğer personellere eğitim verilip verilmediğinden haberim yok” cevabını vermiştir.

E7 kişisi “İSG kapsamında bugüne kadar çalışanlara iki eğitim verildi. Çalışanlar işe başlarken onlardan sağlık raporu almıyoruz. Bence alınması gerek. Çalışanların hangi sağlık sorunları olduğunu bilsek hem onlara uygun görevler veririz hem de çalıştıkları alanlarda hastalıklarına karşı tehlike oluşturacak unsurlara tedbir alırız” cevabını verirken, E6 kişisi “Çalışanlardan sağlık raporu istiyoruz. Tıp fakültesi olarak özellikle asistanlardan istiyoruz. İşe girişlerde sağlık raporunun alınması gerekli bence. İSG eğitimi çalışanlara bir kez verildi. O eğitimden sonra eğitim verilmedi” cevabını vermiştir.

S6: Acil durumlarda görev yapacak personeliniz belirlendi mi? Bu kişilere görevleriyle ilgili eğitimler aldırıldı mı?

E6 kişisi “Acil durumlarla ilgili personeller belirlendi. Ama sadece ilk yardım ekibinin eğitimi var diğerlerinin yok”, E4 kişisi

“Acil durum ekiplerimiz üç yıl önce belirlendi ve çalışanlara duyurulmuştu. Sonra acil durumlarla ilgili bir şey yapılmadı” cevabını vermiştir. E2 kişisi “Arama kurtarma ekibi idari personelden seçildi, kimlerin seçildiğini bilmiyorum. Bu kişilere de herhangi bir eğitim verilmedi” ifadesini kullanırken, E5 kişisi ise “Acil durum ekiplerinden birisinde görevliydim. Ama şu an bu ekiplerde görevli kişiler kim bilmiyorum” cevabını vermiştir.

S7: Bugüne kadar biriminizde iş kazası veya meslek hastalığı yaşandı mı?

K1, E1, E2, E4, E5, E6 ve E7 kişisi birimlerinde iş kazası veya meslek hastalığı yaşanmadığını ifade ederken E3 kişisi “Bir iş kazası yaşadık. Çalışan elinden yaralanmıştı. Olaydan sonra bakanlığa bildirim yapmadığımız için para cezası aldık. Bu konuda hastane haricinde bizimde bir bildirim yapmamız gerektiğini bilmiyorduk” cevabını vermiştir.

S8: İSG uygulamalarının biriminizde daha iyi uygulanabilmesi için ne yapılmalıdır? İSG Kanununda size verilen görevleri veya yükümlülükleri yerine getirirken zorluk yaşadınız mı?

E7 kişisi “Kanunda yer alan sorumlulukları yerine getirirken kısmen zorluk yaşıyorum. Bazen sorunlara çözüm bulamadığımız süreçler yaşayabiliyoruz. Çalışanlar tarafından tam anlaşılmadığı ve benimsenmediği için İSG uygulamaları tam olarak yapılamıyor. Bu yüzden İSG iyi anlatılmalı, farkındalık oluşturularak herkes tarafından benimsenmesi sağlanmalıdır”, E5 kişisi “Kanunun bize yüklediği yükümlülükleri yerine getirirken zorluk çekiyorum. Bu zorluğun tek sebebi maddi durumdan kaynaklanıyor. İSG uygulamalarının daha iyi uygulanması için kişilerin bilinçlendirilmesi lazım. Bunun için kişiye eğitim verilmeli ve uygulamaya geçilmelidir” cevaplarını vermişlerdir.

K1 kişisi “Kanunda bizim yükümlülüğümüzdeki işleri yaparken zorluk çektiğimiz durumlarda üst idareyi devreye sokarak işleri halletmeye çalışıyoruz. İSG'nin daha iyi uygulanabilmesi için farkındalık eğitimleri gerekli. Genel İSG konuları yerine spesifik konulara girilerek farkındalık yaratılmalıdır”, E6 kişisi ise “kanun kapsamında yükümlülüklerimizi yerine getirirken zorluk çekmiyorum. Tüm birimlerde İSG uygulamalarının rutin hale getirilmesi, periyodik toplantı ve eğitimleri yapılması İSG uygulamalarını daha uygulanabilir hale getirmektedir” cevabını vermiştir.

4. Sonuç

Yapılan çalışmada üniversitenin farklı birimlerinde işveren, işveren temsilcisi ve çalışan temsilcisi görevlerinde bulunan kişilerin sorulara verdikleri cevaplar yorumlanmıştır. Çalışan sayılarının sorulduğu soruya verilen cevapların kesin değil yaklaşık sayılarla ifade edildiği gözlemlenmiştir. Özellikle birim yöneticilerin yasalar karşısında sorumlu olduğu kişi sayısını tam bilmemeleri dikkat çekicidir. 6331 sayılı İSG Kanunu'nda çalışan temsilcisi, yıllık eğitim sürelerinin belirlenmesi, acil durum vb. planlarının tam ve eksiksiz yapılabilmesi için çalışan sayısının net bilinmesi gerekir. İşveren, işveren temsilcisi ve çalışan

temsilcilerinin bir an önce net personel sayılarını güncellemesi ve bu konuda bilgi sahibi olmalıdır.

Görüşmeye katılanlardan biri hariç diğer kişiler birimlerinde iş güvenliği uzmanının görev yaptığını, İSG kurulunun varlığından haberdar olduklarının fakat kurulda görevli kişileri kim olduğunu bilmediklerini ve işyeri hekiminin görev yapmadığını ifade etmişlerdir. Bir birimde henüz İSG faaliyetlerine hiç başlanılmamış olması burada çalışanların iş kazası ve meslek hastalığı potansiyelinin daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Yönetimin, iş güvenliği uzmanını tanımaları İSG kâtip üzerinden sözleşme yapmalarından veya mevcut risklerle ilgili çalışmaların yapılmasından olabilir. Ancak İSG kurulunda kimlerin olduğunun bilinmemesi az tehlikeli sınıfta yer alan birimlerde üç ayda bir kurulun toplanması gerekliliğinin tam manasıyla yapılmadığının göstergesidir. Birimlerdeki İSG çalışmalarında kuruldaki kişilerle takım çalışması ve beyin fırtınası yapılarak alınacak önlemler belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Bu şekilde ancak kurulda alınan kararların daha çok benimsenmesi sağlanacaktır. İSG çalışmalarının kâğıt üzerinde değil özümsemekle yapılması en önemli şarttır.

Çalışmaya katılanların tamamı birimlerinin az tehlikeli sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir. Ofis çalışanlarının çoğunlukta olduğu kamu kurumları İSG kapsamında az tehlikeli sınıfta yer almaktadır. İşveren, işveren temsilcisi ve çalışan temsilcisinin birimlerinin tehlike sınıflarını bilmeleri buna göre yükümlülüklerini yerine getirme açısından oldukça önemlidir. Öğrencilerin İSG kanun kapsamına dâhil edilmesi sorusuna genellikle olumlu görüşler beyan edilmiştir. Bunun temel nedeni yasalarda her ne kadar kapsam dışı bırakılmasına rağmen onların birim içerisinde yaşayacağı bir iş kazasından sorumlu olacağı ifade edilmesidir. Yasaya dâhil edilmemesini isteyenler ise sorumlu olunan kişi sayısının artmasının kendileri için daha zorlu bir süreç yaratacağını düşünmektedirler. İSG de bireylerin sağlığı tüm yapılan işlerden önemlidir. Bunun için birim içerisinde en aktif ve en çok sayıya sahip olan öğrencilerinde İSG Kanun kapsamına dâhil edilmesi önemli bir adım olacaktır. Öğrencilerin kanun kapsamına alınması onlara İSG eğitimlerinin verilmesi, birim içerisindeki risklerden ve alınacak tedbirlerden haberdar edilmesi, uygulamalı bölümlerde öğrencilere KKD sağlanması açısından önemlidir.

Odak grup görüşmesine katılanlar birim risk değerlendirme analizlerinin yapıldığını ifade etmelerine rağmen risk analizinin hangi tarihte yapıldığı hakkında bilgileri bulunmamaktadır. Bu cevaplar 6331 sayılı İSG kanun kapsamında yükümlülüklerin tam olarak bilinmediği, sürecin tam olarak yöneticiler tarafından takip edilmediğinin bir kanıtıdır. Bu yüzden öncelikle yöneticilere İSG kanunundaki yükümlülükleri ve yerine getirilmeyen yükümlülükler sonucu karşılaşacakları idari ve para cezaları anlatılarak farkındalık düzeyleri artırılmalıdır. Yöneticilere birimindeki en tehlikeli alanların ne dendiğinde kendi düşüncelerine göre teras, bahçe, yemekhane gibi yerleri ifade ettiler. Oysaki risk değerlendirme analizini iş güvenliği uzmanı ve iş sağlığı ve güvenliği kuruluyla birlikte yapsalar veya gelişen duruma göre risk analiz revize çalışmalarına katılsalardı bu cevapların çoğuyla karşı karşıya kalmazdık. Risk değerlendirme analiz sonuçlarındaki skora bağlı acil ele alınması gereken

kısımlar zaten bellidir. Yöneticilerinde bu risk değerlendirme analizlerini özümsemeleri ve birimlerin risklerinden haberdar olması gerekmektedir.

Yöneticilerin çalışanların İSG eğitimi almalarıyla ilgili soruya genellikle evet cevabı verilirken, eğitimin hangi yılda kaç saat ve kaç kişiye eğitim verildiği tam olarak bilinmemektedir. İSG Kanununda az tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde çalışanlara 3 yılda bir en az 8 saatlik belirlenen konularda eğitim verilmesi gerekmektedir. Bu yüzden birim yöneticilerinin bir an önce eğitimlerdeki eksiklikleri tamamlamaları gerekmektedir. Verilen eğitimlerle çalışanların İSG farkındalıkları artırılarak kişisel hatalardan kaynaklı iş kazası ve meslek hastalıkları sayısının en aza indirmek hedeflenmelidir.

İşverenler, işveren vekilleri ve çalışan temsilcileri birimlerinde acil durum ekiplerinin oluşturulduğunu söylerken, ekipte görev yapanları bilmediklerini ifade etmişlerdir. Acil durumlarda (yangın, sel, patlama, deprem vb.) birimlerdeki çalışanların olaylardan en az etkilenmelerini sağlayacak şekilde ekiplerin kurulması oldukça önem arz etmektedir. Ekiplerde bulunan kişilerin tüm çalışanlar tarafından bilinmesi acil durumlarda kiminle iletişime geçileceği ve müdahalenin kim tarafından yapılacağına bilinmesi açısından önemlidir. İşveren tarafından acil durum ekiplerinde görev yapanların görevleriyle ilgili yetkili kuruluşlardan eğitim alması sağlanmalıdır. Doğru yapılan her müdahalenin hayat kurtardığı, yanlış ve eksik yapılan müdahalenin ise sakatlık ve ölümle sonuçlanacağı unutulmamalıdır.

Çalışmaya örnek olan birimlerden sadece birinde küçük yaralanmayla sonuçlanan bir iş kazası yaşanmıştır. Ancak iş kazası bildirim yapılmadığı için para cezası aldıklarını ifade etmişlerdir. Bunun sebebi işverenlerin ve yöneticilerin İSG kanunu kapsamındaki kendi yükümlülüklerini bilmemeleridir. Çalışan eğitimlerine mutlaka yöneticilerinde katılımı sağlanmalı ve İSG profesyonelleri tarafından işveren ve çalışan yükümlülükleri detaylı anlatılmalıdır. Yöneticiler kendi sorumluluklarını bilip, uygular ve çalışana uygulatırsa İSG Kanunu tam anlamıyla kamu kurumlarında da hayata geçmiştir olacaktır.

5. Teşekkür

Bu iş sağlığı ve güvenliği çalışmasının birimlerde yapılmasında gereklivdesteği esirgemeyen Hitit Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Ali Osman ÖZTÜRK'e ve birimlerdeki ilgili yöneticilere teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Terzioğlu, A. & Aksungur, A. (2019). İş sağlığı ve Güvenliğinde İşverenin Hukuki ve Cezai Sorumluluğu. *Dicle Üniversitesi Adalet Meslek Yüksekokulu Dicle Adalet Dergisi*, 3 (6), 12-54.
- Aktan, C. C. & Işık, A. (2007). *21. Yüzyılda Herkes İçin Sağlık: 21 Hedef*. İstanbul:Aura Yayınları.
- Hekimler, A. (2012). 4857 Sayılı İş Kanunu'nda Düzenleme Bulmuş Olan İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşverenlerin

- Temel Yükümlülükleri. *Tekirdağ S.M.M.M. Odası Sosyal Bilimler Dergisi*. Sayı 1, s. 5.
- Bayram, F. (2005). Yeni İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatımıza Hâkim Olan İlkeler. *Legal İş Hukuku ve Sosyal Güvenlik Hukuku Dergisi*, Sayı 7, s. 1104, ss:2-3.
- Çakan, M. & Yavuz, Ş. (2020). *Üniversitelerdeki İş Sağlığı ve Güvenliği Konusundaki Risk Faktörlerinin Önem Derecelerine Göre Sıralanması: Hitit Üniversitesi Örneği*. Elçin YAZICI (Ed.), Eğitim Araştırmaları-2, 1-24, 2. Baskı, Ankara: İKSAD Uluslararası Yayınevi.
- Çiçek, Ö. & Öçal, M. (2016). Dünyada ve Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi. *Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*. Cilt 5 Sayı 11, s. 109.
- Kabakçı, M. (2009). İş Sağlığı ve Güvenliğinin Hukuk Sistemindeki Yeri. *Türkiye Barolar Birliği Dergisi*, Sayı 86, s. 250.
- Şen, M. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı, Tarihsel Gelişimi ve Dayanakları. *MÜHFD*, Cilt 4 Sayı 1, s. 130.
- Süzek, S. (2012). *İş Hukuku*. Ankara: Beta Yayınevi, s. 905.
- Aytekin, Ş. (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Kanun Tasarısı Taslağında Dünden Bugüne. *Sicil İş Hukuku Dergisi*. Cilt 7, Sayı 25, ss. 93-105.
- Cengiz, İ. (2018). İşverenin İş Kazasından Doğan Hukuki Sorumluluğu. *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi*, (34), 123-142.
- 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. İş Kazası, Sayı: 28339, Yayınlanma Tarihi: 30 Haziran 2012
- Güzel, A., Okur, A.R. & Caniklioğlu, N. (2016). *Sosyal Güvenlik Hukuku*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.
- Tuncay, A. C., & Ekmekçi, Ö. (2016). *Sosyal Güvenlik Hukuku Dersleri*. İstanbul: Beta Basım Yayım.
- Yılmaz, A. (2017). Sosyal Güvenlik Hukukunda İş Kazası Kavramı: Kıta Avrupası ve Anglosakson Hukuk İstemlerinden Birer Örnek ile Türk Hukuku Karşılaştırması. *Sosyal Güvenlik*, 0 (11), 107-127.
- The Fabian Society (1901). The Workman’s Compensation Act 1897, What It Means, and How to Make Use of It: The Fabian Society.<http://digital.library.lse.ac.uk/objects/lse:rax644kib/read/single#page/4/mode/2up> adresinden ulaşılmıştır.
- Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu (16.06.2006). No 5510, Resmî Gazete, 26200, 5, C: 45.
- İlman, E. (2015). Türkiye’de Meslek Hastalıkları. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 1 (1), 21-36.
- Boz Eravcı, D. (2019). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve İlgili Yönetmelikleri Çerçevesinde İşverenin Yükümlülükleri. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 8 (22), 330-355. DOI: 10.31199/hakisderg.644319.
- Kökten, M. & Avinç, O. (2014). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’nda İşveren Yükümlülükleri ve Tekstil Sektörü Açısından Bir Bakış. *Tekstil ve Mühendis*, 21 (93). DOI: 10.7216/130075992014219305.
- Kurt, Resul & Kurt, Dilek (2012). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile İşverenlere Getirilen Yükümlülükler ve İdari Yaptırımlar. *Mali Çözüm*. 113 (2012/Eylül-Ekim): 217-234.
- Üngüren, E & Koç, T. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları Performans Değerlendirme Ölçeği: Geçerlik ve Güvenirlilik Çalışması. *SGD-Sosyal Güvenlik Dergisi*, 5 (2), 124-144.
- Akpınar, T. & Çakmakkaya, B. Y. (2014). İş sağlığı ve güvenliği açısından işverenlerin risk değerlendirme yükümlülüğü. *Çalışma ve Toplum*, 0(40), 273- 304.
- Etöz, M & Tulga, İ. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri için Yeni Bir Model: Araç ve Hizmet Rotalama Problemi (AHRP) ve Ampirik Uygulaması. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 15 (32), 53-65.
- Erol, S. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliği Konusunda İşveren, Çalışan ve Devletin Rolü. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 2 (4), 86-103.
- Şensöğüt, C. (2018). İş Güvenliği Kültürü ve Üniversiteler. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 1 (25), 9-15.
- Gür, B. & Yavuz, Ş. (2020). Üniversitelerin İş Sağlığı ve Güvenliği Programında Görev Yapan Akademisyenler Üzerine Bir İnceleme. *ISPEC Journal of Social Sciences Humanities*, 4(4), 328-342.



Kentsel Dönüşüm ve Kentsel Stres Kavramlarının Olası İlişkileri

Ece Özmen^{1*}, Tolga Kayacan²

^{1*} Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Salihli Meslek Yüksek Okulu, Toptan ve Perakende Satış Bölümü, Emlak Yönetimi Programı, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0769-9777), ece.ozmen@cbu.edu.tr

² Şehir Plancısı, Dr. (ORCID: 0000-0003-0818-277X), tolga_kayacan@yahoo.com

(İlk Geliş Tarihi 25 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 5 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903517)

ATIF/REFERENCE: Özmen, E. & Kayacan, T. (2021). Kentsel Dönüşüm ve Kentsel Stres Kavramlarının Olası İlişkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 657-664.

Öz

Geçmişten günümüze kentler sürekli değişimin ve dönüşümün yaşandığı, inşaat odaklı bir dinamizme sahip, yerleşim alanları olmuşlardır. Kentsel dönüşüm, kentlerin bu dinamik yapısına doğrudan cevap veren bir uygulama olarak ülkemizde ve Dünya'da sıklıkla kullanılmaktadır. Kentsel stres etkilerinin kentin dinamizmine bağlı olduğu gerçeği gibi kentteki dönüşüm hareketlerinin de kentsel stres üzerinde etkisi bulunmaktadır. Özellikle insan sağlığının ve yaşam kalitesinin ön planda tutulduğu sürdürülebilir ve ekolojik eksenli kentsel dönüşüm çalışmalarının kentsel stresi azalttığını söylemek mümkündür. Hazırlanan bu araştırma çalışmasında, kentsel stres ve kentsel dönüşüm arasındaki ilişki kentsel dönüşümün amaçları ve boyutları üzerinden incelenmekte olup başarılı bir kentsel dönüşüm uygulaması olarak görülen Bo01 Malmö kentsel dönüşüm projesi üzerinden kentsel stresin azaltılmasına yönelik uygulamaları incelenmektedir. Bo01 projesi sürdürülebilir ve ekolojik kentsel dönüşümün bir örneği olarak ele alınmakta ve atıl kalan bir alanı yeniden işlevsel hale getirerek kentsel stresin azaldığı bir yaşam alanı haline geldiği görülmektedir. Sonuçta başarılı ve yaşam kalitesini arttıran, toplumun tümü üzerinden fayda yaratabilen kentsel dönüşüm uygulamaları ile atılacak adımların, kentsel stresi azaltması mümkündür. Uygulamada Bo01 Malmö projesi gibi başarılı örnekler ile kentsel stres faktörleri göz önünde bulundurularak kentsel dönüşüm projeleri yeniden ele alındığında kentsel stresi azalacak olup yaşam kalitesini de artacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Stres, Kentsel Stres Faktörleri, Kentsel Dönüşüm, Kentsel Dönüşüm Amaçları ve Boyutları, Bo01-Malmö

Possible Relations of Urban Regeneration and Urban Stress Notions

Abstract

From past to present, cities have been residential areas with a construction-oriented dynamism, where constant change and transformation are experienced. Urban transformation is frequently used in our country and in the world as an application that directly responds to this dynamic structure of cities. The fact that the effects of urban stress depend on the dynamism of the city, the transformation movements also have an effect on urban stress in the city. Sustainable and ecologically oriented urban transformation studies, especially in which human health and quality of life are prioritized, reduce urban stress. In this research article, the relationship between them is examined through the purposes and dimensions of urban transformation, and its applications to reduce urban stress are examined through the Bo01 Malmö urban transformation project. Bo01 project stands out as an example of sustainable and ecological urban transformation, and it has become a living space where urban stress is reduced by increasing the quality of life of the citizens by making an idle area functional again. As a result, it is possible to reduce urban stress with successful urban transformation practices that create benefits for the entire society. Considering successful examples such as the Bo01 Malmö project and urban stress factors in practice, urban regeneration projects will decrease and the quality of life will increase.

Keywords: Urban Stress, Urban Stress Factors, Urban Transformation, Urban Transformation Goals and Dimensions, Bo01-Malmö

* Ece Özmen: ece.ozmen@cbu.edu.tr

1. Giriş

Kentler, toplumun bir ürünü olarak dinamik, kozmopolit, karmaşık ve değişken bir yapıya sahip yaşam alanlardır. Son 30 yılda giderek artan kentleşme hızı ile birlikte kentlerdeki sosyal çevre ve yapılaşmış çevre hızlı bir değişim göstermiştir. Yeşil ve açık alanların azalması, kentlerdeki sıkışmışlığın yarattığı çevresel ve sosyal sorunlar, hava kirliliğinin artması gibi nedenler kentsel stresi de arttırmaktadır. Kentte yaşanan her durum ve olay bir yönüyle toplumda oluşturduğu kentsel stres şeklinde gündem haline gelmektedir.

Stres, insan sağlığını fiziksel veya ruhsal olarak etkileyerek, yaşam kalitesi üzerinde doğrudan etkin bir faktördür. Kentsel stres ise kesin ve net bir tanımı olmamakla birlikte Koene'e göre birçok farklı faktöre bağlı olarak kentli yaşantısında etkili olmaktadır (Koene, 2018). Alt faktörleri ile birlikte ele alındığında planlama yaklaşımlarının her zaman çözüm bulmaya çalıştığı birçok sorunun stresi tetiklediği de görülmektedir. Stresin yanı sıra sağlıklı koşullarda yaşayan bireyler, koşullarının iyileştirilmesi için sürekli bir destek beklemekte olup kentsel dönüşüm uygulamalarını bir fırsat olarak görmektedir.

Kentsel dönüşüm uygulamaları günümüzde, sanayi alanlarının şehir dışında yer gösterilmesi nedeniyle boşaltılan yerlerin toplum yararına göre düzenlenmesi, kentlerde çöküntü bölgeleri olarak öne çıkan alanların toplumsal ve fiziksel açıdan yaşanabilir, sağlıklı alanlar haline getirilmesi, eskimiş kent dokularının yeniden yapılandırılması ve afet sonrasında oluşabilecek hasarlara karşı riski olan alanların iyileştirilmesi olarak karşılık bulmaktadır (Yedekçi, 2015). Bütün bu uygulamaların sorunlara çözüm arayan ve daha yaşanabilir kentler oluşturmak için belirlenen planlama yaklaşımları ile uygulanan başarılı kentsel dönüşüm projelerinde kentsel stresin azaldığı görülmektedir.

Bu başarılı kentsel dönüşüm projeleri Dünya genelindeki kentsel dönüşüm projelerine örnek teşkil etmenin yanında, toplumsal yaşam kalitesini de arttırmaktadır. Bu çalışma kentsel strese yol açan faktörler ile kentsel dönüşümün amaçları ve boyutları arasındaki ilişkisini ortaya koymak amacıyla

hazırlanmış olup Dünya'da başarılı bir kentsel dönüşüm uygulaması olarak görülen Bo01/Malmö projesi üzerinden ele alınmıştır. Sonuç olarak, doğru planlanan ve ilkesel yaklaşımları sayesinde başarılı bir kentsel dönüşüm uygulamasının kentsel stresi azaltıcı ve yaşam kalitesini artırıcı bir araç olacağı sonucuna varılmıştır.

2. Kentsel Stres ve Kentsel Stres Faktörleri

Stres kavramı sağlık bilimleri yönüyle ele alınan bir kavram olarak bireyin kendisinde meydana gelen değişimleri ele almakla birlikte kentsel stres, bireyin yaşadığı bireysel baskı hissinden ziyade, toplumun (kentlilerin) genelinde yarattığı etkiler ve baskı ile ilgilenmektedir. Kentsel stres seviyesi arttıkça toplumda oluşturduğu memnuniyetsizlik düzeyi o kadar artış göstermektedir. Kentsel strese yol açan faktörler araştırmacılar tarafından farklı olarak ele alınsa da, bu faktörleri genel olarak kentsel çevreden kaynaklanan faktörler, kentlerin durumundan kaynaklanan faktörler, ekonomik kentsel faktörler, sosyal yaşam kaynaklı faktörler ve sağlık faktörleri olmak üzere beş ana başlıkta toplayabilmek mümkündür (Tablo 1).

Bu beş temel faktörün alt başlıkları detaylandırıldığında, kentsel çevreden kaynaklı faktörlere örnek olarak kalabalık, etrafa dağılmış çöpler, yüksek katlı yapılaşma, trafik, kazalar ve yeşil alanların varlığı ve ulaşılabilirliği verilebilir. Kentsel yaşam koşullarından kaynaklı faktörler ise hava ve gürültü kirliliği, sıcaklık ve gün ışığı yetersizliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Sosyal yaşam faktörleri; cinsiyet eşitsizliği, ırk ayrımcılığı, suç oranları, sosyal destek ağlarının yetersizliği, ekonomik faktörler; işsizlik, sosyal güvence ve satın alma gücü olarak değerlendirilebilir. Sağlık faktörleri ise ruhsal sağlık, fiziksel sağlık, beslenme, egzersiz yetersizliği, obezite ve virüslere açık olma durumlarını kapsamaktadır. Bütün bu temel faktörler ile bu faktörlerin alt faktörlerin en az birinden veya çok daha fazlasından bireyler (toplum) her gün etkilenmektedir. Kentsel stres faktörleri, plan kararları yanı sıra uygulama projelerinin niteliğine bağlı olarak stres seviyesini azaltabilir veya artırabilir. Stres seviyesinin azaltılmasına yönelik atılacak bütün adımlar, gelecekte de kentlilerin yaşam kalitelerine etki edecektir.

Tablo 1. Kentsel Strese Yol Açan Faktörler (Koene, 2018)

Kentsel Stres Faktörleri	Alt Faktörler
Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler	Güneşin görüldüğü saatler Hava kirliliği, Gürültü kirliliği, Işık kirliliği SO2 (kükürt dioksit)'ye maruz kalma, NO2 (azot dioksit)'ye maruz kalma, Radyasyona maruz kalma İklimsel ve jeofiziksel tehlikeler
Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler	Yoğunluk, Kalabalık, Sıkıcı mega yapılar, Yüksek yapılar, Mimari ve kentsel tasarım düzenleri, Çöpler, duvar yazıları, bakımsızlık, Trafik sıkışıklığı, Otopark problemleri, Toplu taşıma, Güvenlik algısı Yeşil alanların varlığı & ulaşılabilirliği, Konut koşulları, Kazalar, Düşmeler
Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler	Cinsiyet eşitsizliği, Irk eşitsizliği Güvenlik hissi, Suç & Hırsızlık Sosyal destek ağlarının yetersizliği
Sağlık Kaynaklı Faktörler	Akıl sağlığı Fiziksel sağlık, Mikrop, bakteri ve virüslere maruz kalma Beslenme, Obezite, Egzersiz yetersizliği
Ekonomik Kentsel Faktörler	İşsizlik, Kişi başına düşen borç Sosyal güvenlik Aile satın alma gücü

3. Kentsel Dönüşüm Kavramı, Kentsel Dönüşümün Amaçları, Boyutları ve Yöntemlerinin Kentsel Stresin Azaltılmasındaki Etkileri

Kentsel dönüşüm kavramının akademik ve mesleki hayatta birçok farklı tanımı bulunmakla birlikte, tüm tanımları genel olarak kentin eskimiş, yıpranmış, işlevini yitirmiş ya da sağlıklı ve kullanışsız hale gelmiş alanlarının temizlenmesi, yapıların iyileştirilmesi, daha iyi yaşam şartları getirilmesi ve günün değişen koşullarına ve ihtiyaçlara uygun hale getirilmesi şeklinde açıklamak mümkündür. Kentsel dönüşüm uygulamaları kentsel stres faktörlerinden özellikle kentsel çevreden kaynaklı faktörlerin alt başlıklarından olan, mimari ve kentsel tasarım düzenleri, trafik sıkışıklığı, otopark problemleri, yeşil alanların varlığı ve ulaşılabilirliği, konut koşulları gibi alt başlıklara doğrudan etki edebilir. Fakat kentsel dönüşüm, amaçları ve boyutları ile ele alındığında ise kentsel stres faktörlerinin her bir başlığına etki edebileceği görülmektedir. Çünkü kentsel dönüşüm, çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan çok yönlü bir uygulama yöntemi olarak kabul edilmektedir.

3.1. Kentsel Dönüşümün Amaçları

Kentsel dönüşümün amacı; kent için önem arz eden, ancak çeşitli nedenlerle çöküntüye uğramış, köhnemiş, eskimiş, bozulmuş ya da bu süreçlerin henüz yaşanmakta olduğu kent parçalarının yeniden hayata döndürülmesidir. Bu yönüyle hem çevresel hem de sosyal yönüyle kentlere etki etmektedir. Aynı zamanda kentsel dönüşüm, kentin kültürel mirasını ve kimliğini koruma ve yaşatma zorunluluğunun yanı sıra mevcut kaynakların kullanımının getireceği ekonomik kazançlarla da ilgilidir (Özden, 2008).

Kentsel dönüşüm faaliyet alanı ve doğası gereği mevcut kentin yapısına ve burada yaşayan bireylerin ekonomik, fiziksel ve sosyal geleceği üzerinden kentin bütün kimliğini etkileyeceğinden dönüşümü planlama çalışmalarında farklı disiplinlerin birlikte çalışmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda kentsel dönüşüm çalışmaları yapılırken 5 temel amaç gözetilerek tasarlanması gerektiği ifade edilmektedir (Şişman ve Kibaroğlu, 2009).

Tablo 2. Kentsel dönüşümün amaçları ve etkilediği kentsel stres faktörleri (Şişman ve Kibaroğlu, 2009 ve Koene, 2018 referans alınarak tarafımızdan üretilmiştir.)

Kentsel Dönüşümün Amaçları	Kentsel Stres Faktörü	Kentsel Stres Faktörleri Üzerindeki Olası Etkisi
Kentin fiziksel koşulları ile toplumsal problemleri arasında doğrudan bir ilişki kurulmalı ve projeler temelinde toplumsal bozulmanın önlemine sağlayacak şekilde geliştirilmeli.	Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler	İklimsel Ve Jeofiziksel Tehlikelerin Dikkate Alınması, Çöpler, Duvar Yazıları Ve Bakımsızlığın Azaltılması, Mimari Ve Kentsel Tasarım Düzenlerinin Toplumun Yapısına Göre Şekillendirilmesi, Konut Koşullarının İyileştirilmesi, Güvenlik Hissinin Artması, Sosyal Destek Ağlarının Arttırılması
Kentsel dönüşüm kentin hızla büyüyen, değişen ve bozulan dokusunda ortaya çıkan yeni fiziksel, toplumsal, ekonomik, çevresel ve alt yapısal ihtiyaçlara göre kentin sürekli yeniden gelişmesine olanak sağlayarak değişim ihtiyacına cevap vermelidir.	Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler Ekonomik Kentsel Faktörler Sağlık Kaynaklı Faktörler	Mimari Ve Kentsel Tasarım Düzenlerinin İyileştirilmesi, Yeşil Alanların Varlığının Sürdürülmesi Ve Ulaşılabilirliğinin Arttırılması, Konut Koşullarının İyileştirilmesi, Otopark Problemlerinin Çözülmesi, Çöpler, Duvar Yazıları Ve Bakımsızlığın Giderilmesi, Güvenlik Hissinin Artması, Sosyal Destek Ağlarının Arttırılması, İşsizliğin Azaltılması, Aile Satın Alım Gücünün Arttırılması, Egzersiz yapılabilmesi için alanların düzenlenmesi, Fiziksel sağlığın iyileştirilmesi için mekan kurgusu

1.Kentin fiziksel koşulları ile toplumsal problemleri arasında doğrudan bir ilişki kurulmalı ve projeler temelinde toplumsal bozulmanın önlemine sağlayacak şekilde geliştirilmeli.

2.Kentsel dönüşüm kentin hızla büyüyen, değişen ve bozulan dokusunda ortaya çıkan yeni fiziksel, toplumsal, ekonomik, çevresel ve alt yapısal ihtiyaçlara göre kentin sürekli yeniden gelişmesine olanak sağlayarak değişim ihtiyacına cevap vermelidir.

3.Kentsel dönüşüm projeleri fiziksel ve toplumsal çöküntü alanları haline gelen kent parçalarında ekonomik canlılığı yeniden getirecek stratejileri geliştirerek kentsel refah ve yaşam kalitesini arttırmayı hedeflemelidir.

4.Dönüşümde kentsel alanların en etkin bir biçimde kullanımına ve gereksiz kentsel yayılmadan kaçınmaya yönelik stratejiler ortaya koyularak projeler geliştirilmelidir. Böylece daha önce kullanılmış ve atıl olan alanların tekrar kullanımı sağlanacak ve gereksiz yayılma sınırlandırılmış olacaktır.

5.Toplumsal koşullar ve politik güçlerin ürünü olarak kentsel politikalarının şekillendirme ihtiyacını karşılamayı amaçlayarak çok paydaşlı bir planlama ve tasarım süreci ile gerçekleştirilmelidir. Kamu ve özel sektör katılımının yanı sıra sivil toplum örgütleri ve toplumun farklı kesimlerinin katılımını sağlayan bir planlama anlayışı benimsenmelidir.

Bu beş temel amaç, kentsel strese yol açan faktörlerin azaltılmasında ya da ortadan kaldırılmasında rol oynayabileceği teorik olarak değerlendirilebilir. Kentsel dönüşümün amaçlarının hangi stres faktörlerinin azaltılmasında ya da ortadan kaldırılmasında rol oynayabileceği Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2’de görüldüğü üzere, kentsel dönüşümün her bir amacı farklı bir kentsel stres faktörüne etki etse de kentsel dönüşümün bütün amaçlarının uygulanması halinde kentsel stres faktörlerinin tamamında bir değişim görülebilecektir. Özellikle kentsel dönüşüm amaçlarının ikinci maddesi ile üçüncü maddesi kentsel stresin bütün faktörlerinde karşılık bulmaktadır. Kentsel stres ile kentsel dönüşüm uygulamalarının ortak kesişim noktaları kentsel dönüşüm amaçlarında da görüldüğü gibi, kentsel refah ve yaşam kalitesinin artırılması ile kent ve toplumun ihtiyacına yönelik ortak adımların atılması yönündedir

Kentsel dönüşüm projeleri fiziksel ve toplumsal çöküntü alanları haline gelen kent parçalarında ekonomik canlılığı yeniden getirecek stratejileri geliştirerek kentsel refah ve yaşam kalitesini arttırmayı hedeflemelidir.	Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler Sağlık Kaynaklı Faktörler Ekonomik Kentsel Faktörler	Mimari Ve Kentsel Tasarım Düzenlerinin İyileştirilmesi, Yeşil Alanların Varlığının Sürdürülmesi Ve Ulaşılabilirliğinin Arttırılması, Konut Koşullarının İyileştirilmesi, Otopark Problemlerinin Çözülmesi, Çöpler, Duvar Yazıları Ve Bakımsızlığın Giderilmesi, Hava, Gürültü Ve Işık Kirliliğinin Azaltılması, Güvenlik Hissinin Artması, Sosyal Destek Ağlarının Arttırılması, İşsizliğin Azaltılması, Aile Satın Alım Gücünün Arttırılması, Egzersiz yapılabilmesi için alanların düzenlenmesi, Fiziksel sağlığın iyileştirilmesi için mekan kurgusu
Dönüşümde kentsel alanların en etkin bir biçimde kullanımına ve gereksiz kentsel yayılmadan kaçınmaya yönelik stratejiler ortaya koyularak projeler geliştirilmelidir. Böylece daha önce kullanılmış ve atıl olan alanların tekrar kullanımı sağlanacak ve gereksiz yayılma sınırlandırılmış olacaktır.	Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler	Sıkıcı Mega Yapıların Oluşturulmaması, Keskin Mimari Açılardan Kaçınılması, Mimari Ve Kentsel Tasarım Düzenlerinin İyileştirilmesi, Yeşil Alanların Varlığının Sürdürülmesi Ve Ulaşılabilirliğinin Arttırılması, Konut Koşullarının İyileştirilmesi, Otopark Problemlerinin Çözülmesi, Çöpler, Duvar Yazıları Ve Bakımsızlığın Giderilmesi, Hava, Gürültü Ve Işık Kirliliğinin Azaltılması, Güvenlik Hissinin Artması, İklimsel Ve Jeofiziksel Tehlikelerin Azaltılması
Toplumsal koşullar ve politik güçlerin ürünü olarak kentsel politikalarının şekillendirme ihtiyacını karşılamayı amaçlayarak çok paydaşlı bir planlama ve tasarım süreci ile gerçekleştirilmelidir. Kamu ve özel sektör katılımının yanı sıra sivil toplum örgütleri ve toplumun farklı kesimlerinin katılımını sağlayan bir planlama anlayışı benimsenmelidir.	Sosyal Kaynaklı Faktörler	Cinsiyet Eşitsizliğinin Ortadan Kaldırılması, Güvenlik Hissinin Arttırılması, Suç Ve Hırsızlık Oranlarının Azaltılması, Sosyal Destek Ağlarının Arttırılması

3.2. Kentsel Dönüşümün Boyutları

Kentsel dönüşüm birden fazla boyutu bulunan çok yönlü bir uygulama yöntemidir. Kentsel dönüşümün boyutları; sosyal boyut, ekonomik boyut, planlama boyutu ve hukuki boyut olmak üzere dört ana başlık altında toplanmaktadır. Bütün boyutları ile ele alınması gereken bir bütün olan kentsel dönüşüm, amaçlarının yanı sıra boyutları ile de kentsel stres üzerinde etki etmektedir. İnsan, mekân ve istihdamın bir arada düşünülerek dönüşümün

dört temel boyutunun bütünlük ve dengeli bir şekilde geliştirilmesi kentsel dönüşümü başarılı kılan öğeler olarak kabul edilirken, kentsel dönüşüm projelerinde katılımcıların ve aktörlerin farklı olması nedeniyle yöntem ve uygulamalarda kurgunun iyi yapılması ve beklentilerin karşılanması dönüşümün başarısını etkileyen bir diğer etken olarak görülmektedir (Polat ve Dostoğlu, 2007). Tablo 3'te kentsel dönüşümün boyutlarının kentsel stresin hangi faktörlerinin azaltılmasına katkı sağlayabileceği özet olarak belirtilmiştir.

Tablo 3. Kentsel dönüşümün boyutlarının etkilediği kentsel stres faktörleri (Özden, 2008 ve Koene, 2018 referans alınarak tarafımızdan üretilmiştir.)

Kentsel Dönüşüm Boyutu	Etki Edebileceği Kentsel Stres Faktörü	Kentsel Stres Faktörlerinin Alt Başlıkları
Sosyal Boyut	Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler	Eşitsizlik Hissi, Sosyal Destek Eksikliği Ve Sosyal Güvenlik
Ekonomik Boyut	Ekonomik Kentsel Faktörler	İşsizlik, Kişi Başına Düşen Borç, Sosyal Güvenlik Ve Satın Alım Gücü
Planlama Boyutu	Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler, Kentsel Çevreden Kaynaklı Faktörler, Sağlık Kaynaklı Faktörler	Konut Koşulları, Yeşil Alanların Varlığı Ve Ulaşılabilirliği, Mimari Ve Kentsel Tasarım Düzenleri, Hava Kirliliği, Gürültü Kirliliği, Egzersiz Yetersizliğinin Önüne Geçilmesi İçin Mekanların Üretimi Vb.
Hukuki Boyutu	Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler Kentsel Çevreden Kaynaklı Faktörler, Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler	Eşitsizliğin Olmaması, Mimari Ve Kentsel Tasarım Düzenlerinin Yasal Zeminde Tanımlı Olması, İklimsel Durumun Ve Jeofiziksel Tehlikelerin Farkında Olunması

i. Sosyal Boyut

Dönüşüm alanlarında alınacak olan kararlar ve bu doğrultuda oluşturulacak stratejiler, yerel-toplumsal özellikler ile sıkı bir ilişki içindedir. Bu sebeple dönüşüm yapılacak alandaki toplumun iyi tanımlanması, yerel halkın ihtiyaçlarının ve bu ihtiyaçları

karşılacak faktörlerin belirlenmesi, ekonomik ve sosyal koşulların iyileştirilmesine yönelik ortak amaçların geliştirilmesi, toplumun içinden temsilcilerin seçilmesi, toplumsal girişimler, etkin toplumsal ortaklıklar gibi faktörler, dönüşüm alanlarında

ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde ortaya konulmak durumundadırlar (Özden, 2008:219).

Dönüşümün sosyal boyutu; aktörler arasında sıkı ilişkilerin olması gerekliliğini, yerel halkın gereksinimlerinin doğru tespit edilerek bu gereksinimleri karşılayacak şekilde dönüşümün yapılması gerekliliğini ve sosyal ilişkilerin geliştirilmesini kapsamaktadır. Dönüşüm çalışmalarında yerel halkın çalışmalara katılması, sorunlarının ve çözüm önerilerinin dinlenmesi ve çalışmalarda dikkate alınması, kentsel dönüşümün başarıya ulaşma oranını artıracak ve yerel halkın projeyi benimsemesini sağlayacaktır. Bu nedenle dönüşümün sosyal boyutunun, kentsel strese yol açan faktörlerden eşitsizlik hissi, sosyal destek eksikliği ve sosyal güvenlik gibi faktörlerin bulunduğu sosyal kaynaklı faktörlerin azaltılmasında rol oynayabileceği öngörülmektedir.

ii. Ekonomik Boyut

Kentsel dönüşümde genel olarak büyük maliyetler gerekmele birlikte, başarılı bir uygulamanın getireceği rant ile, bu maliyetler rahatlıkla geri kazanılabilmektedir. Bu nedenle, bir alanda dönüşüme karar vermeden önce, fayda-maliyet analizleri yapılmalı, maliyetin kesin hesabı çıkarılmalı ve elde edilecek rantın da projeksiyonu ortaya koyulmalıdır. (Özden, 2008:219).

Dönüşüme konu olacak bölgede yaşayan halkın veya o bölgede mülk sahibi olan kişilerin ekonomik durumları, dönüşüm uygulamasını etkileyen önemli faktörlerdendir. Dönüşüm uygulamasının finansmanının tamamının devlet tarafından karşılanması her zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, dönüşüme konu olacak bölgede yaşayan halkın ekonomik durumu ne kadar iyiye, dönüşüm uygulamasının gerçekleşmesi de o kadar kolay olmaktadır (Kayacan, 2009).

Ekonomik durumu belirleyen en önemli faktörlerden biri olarak işsizlik karşımıza çıkmaktadır. İşsizlik oranının yüksek olduğu bir bölgede dönüşüm gerçekleştirmek oldukça zor olacaktır. Çalışmayan kişilerin ekonomik durumu kötü olacağından, dönüşüm yapılan bölgedeki yeni konutların ödemesini yapamayacak ya da dönüşüm sonrası gelişen bölgedeki yeni imkanlara ayak uydurmakta güçlük çekecektir. Böyle durumlarda devlet ve özel sektöre düşen görev, bu tür ekonomik olumsuzlukların giderilebilmesi için gerekli ekonomik koşulları sağlamak olacaktır. Düşük faizli kredi sağlamak, geri ödeme kolaylıkları sağlamak, teknik uzman ve personel temin etmek, eğitimi gerçekleştirmek, konut edinmede kolaylıklar sağlamak, gerekli danışmanlık hizmetlerini yerine getirmek bu koşullar arasında sayılabilir (Kayacan, 2009). Kentsel dönüşüm sonrasında yeniden kullanıma açılan/canlanan alanlar ile birlikte bölgede ticari hareketlilik de yeniden artmaya başlayacaktır. Bölgede bulunan esnaf/zanaatkarların da bölgenin hareketlenmesi ile birlikte işsizlik ve ekonomik sorunları azalacaktır.

Dönüşümün ekonomik boyutu; yerel halkın ekonomik durumunu, işsizlik oranlarını, bölgedeki ticari faaliyetlerin durumunu kapsamaktadır. Dönüşüm yapılacak alanda yaşayan halkın ekonomik durumları, işsizlik oranları göz önünde bulundurularak, sağlanacak ekonomik destekler ve dönüşüm alanında ticari aktivitelerin düzenlenmesi/artırılması ile birlikte halkın ekonomik durumuna katkı sağlanabilecektir. Bu nedenle dönüşümün ekonomik boyutunun, kentsel strese yol açan faktörlerden işsizlik, kişi başına düşen borç, sosyal güvenlik ve satın alım gücü faktörlerinin bulunduğu ekonomik kentsel stres faktörlerinin azaltılmasında rol oynayabileceği öngörülmektedir.

iii. Planlama Boyutu

Kentsel dönüşümü somutlaştıran ve hayata geçmesini sağlayan planlamadır. Kentlerin canlandırılmasında, bu planlamanın ve tasarımın bütüncüllüğü, sürdürülebilirliği, yaşam kalitesini artırıcı tedbirleri olmalı, özgünlüğü ifade edebilmelidir (Özden, 2008: 218). Kentsel dönüşüm sürecinde değerlendirilecek alanın iddia sahipleriyle birlikte dönüşüm planını geliştirmeyi hedeflediği boyut olan planlamada dönüşüm planının hazırlanması üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda ilgi sahibi analizi yapılmakta; analizi takiben ilgi sahibi gruplarıyla bilişsel haritaları oluşturulmakta; son aşamada da önceki aşamalarda elde edilen veriler tüm ilgi gruplarıyla paylaşmakta, değerlendirilmekte, alan ile ilgili kentsel dönüşüm vizyonu, stratejileri, öncelikli projeler saptanmakta ve detaylandırılmaktadır. Projelerin detaylandırılmasıyla eylem planları hazırlanmaktadır. Burada ilgi gruplarının karar alma ve uygulama aşamalarına katılmaları, bu aktörlerin gelecek modellerin oluşturulmasında hak iddia eden aktörler durumuna getirilmeleri bakımından önem arz etmektedir. Nitekim onların tasarım sürecine girdi oluşturmaları, oluşturulacak planın işlerlik kazanmasında duyarlılıkları ve taahhütleri açısından önemlidir. Kentsel dönüşüm tasarım ve planlama çalışmalarına eş zamanlı ve sürekli olarak hem tüm proje grup üyeleri arasında hem de genel halkla iletişim ve geribildirim süreci yürütülmelidir (Ataöv ve Osmay, 2007: 77).

Yine bölgede yer alan boş alanların değerlendirilmesi, bölgeyi çekici hale getirecek, yaşam kalitesini ve standartlarını artıracak çalışmaların yapılması, kentsel tasarım çalışmalarını gerektirmektedir. Cadde ve sokakların düzenlenmesi, meydan, yeşil alan, parklar ve rekreasyon alanlarının düzenlenmesi, ticari alanların düzenlenmesi gibi pek çok çalışma kentsel tasarım çalışmalarının bünyesinde yapılmaktadır (Kayacan, 2009).

Dönüşümün planlama boyutu; dönüşüm yapılacak alanın altyapısı, ulaşımı, boş alanların değerlendirilmesi, yaşam kalitesini ve standartlarının artırılması, cadde ve sokakların düzenlenmesi, yeşil alanlar, parklar ve rekreasyon alanlarının düzenlenmesi, ticari alanların düzenlenmesi gibi çalışmaları kapsamaktadır. Altyapının ve ulaşımın geliştirilmesi, cadde ve sokakların düzenlenmesi, halkın nefes alıp sosyalleşebileceği ve günün stresinden uzaklaşabileceği yeşil alanların ve rekreasyon alanlarının düzenlenmesi, bölgenin yaşam kalitesini ve standartlarını da artıracaktır. Bu nedenle dönüşümün planlama boyutunun, kentlerin durumundan ve kentsel çevreden kaynaklı faktörlerin ve sağlık kaynaklı faktörlerin azaltılmasında rol oynayabileceği öngörülmektedir.

iv. Hukuki Boyut

Kentsel dönüşüm, ancak ilgili kanunların birbiriyle örtüşmesi ya da birbirini tamamlaması durumunda hayata geçebilmektedir. Bu bağlamda kanunların kentsel dönüşüm uygulamaları için düzenleyici ve darboğazları giderici maddeler içererek, birbirlerini tamamlayıp bütünlemeleri gerekmektedir (Özden, 2008:219).

Hukuki boyutu yönüyle kentsel dönüşüm değerlendirildiğinde, herkes için eşit hakların tanındığı bir yasal zemine sahip olması gerekmektedir. Mimari ve kentsel tasarım düzenleri üzerinde açıklayıcı maddelerin yanı sıra kentsel dönüşüm uygulanacak alana dair iklimsel yapının ve jeofiziksel tehlikelerin göz önünde bulundurulması zorunluluğu yasal altlıkta yer almalıdır. Bu nedenler ile dönüşümün hukuki boyutu, sosyal yaşam kaynaklı faktörler, kentsel çevreden kaynaklanan faktörler ve kentlerin durumundan kaynaklı faktörlerin azaltılmasında rol oynayabilecektir.

4. Uygulanmış Kentsel Dönüşüm Örneklerinden Kentsel Stresin Azaltılmasına Yönelik Uygulama Örnekleri

4.1. Bo01 (City of Tomorrow) Malmö

Bo01- “City of Tomorrow” projesi İsveç’in Malmö kentinde 1995 yılında yapımına başlanmış 2001 yılında tamamlanmış liman alanının karma kullanımlı yeni bir yaşam alanına sürdürülebilir eko-kent ilkeleri bağlamında dönüştürülmesi projesidir. Bölgenin ilk etap olarak belirlenen arazisi, küçük geliştirme parselleri olarak, farklı mimarlık firmalarına bırakılarak kaliteli malzemelerin kullanıldığı, enerji verimliliği sağlayan ve belirli çevre standartlarına göre inşa edilmiş evlerden oluşmaktadır (Url-1) (Şekil 1).

Sürdürülebilir kentsel tasarım yaklaşımları için ilk İsveç modellerinden biri olarak Bo01’in geliştirilmesine yönelik düşünce ve yeni yaklaşımlar, hükümet politikası ve finansman sağlayan girişimler sayesinde mümkün olmuştur (Austin,2013). Yapılan uygulamalar arasında öne çıkan ekolojik tasarımların yanı sıra trafikle ilgili sorunları azaltmak için yeni kaldırımlar ve bisiklet yolları inşa edilmiş ve sakinler tarafından yerel bir elektrikli araba havuzu kurulmuştur (Url-1). Yeşil alanların genişletilmesi ve açık yağmur suyu yönetim sistemi ile biyoçeşitlilik artırılmıştır (Url-1).

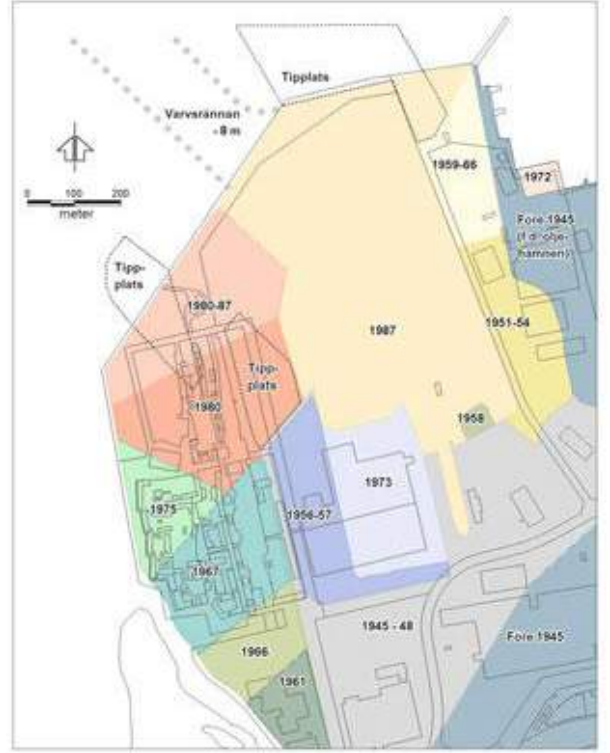
Şekil 1. Bo01 proje alanından bir görüntü (Url-2)



Batı Limanı bölgesinde yer alan Bo01 projesi, kentsel dönüşüm projesi başlamadan önce gemi inşa endüstrisine ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 2). Başlatılan dönüşüm projesi sonrasında farklı birçok girişim ile konut projeleri, yerel yönetim ile kamusal alanların düzenlendiği bir ekolojik, sürdürülebilir kentsel tasarım projesi haline gelmiştir (Şekil 3).

Tek bir yapı formundan oluşmayan Bo01 projesi, sürdürülebilir ekolojik kentsel dönüşüm ve tasarım yaklaşımlarıyla, Malmö kentine yeni bir yaşam alanı oluşturmuştur. Kentsel dönüşüm projelerinin genel amaçları ile tamamen uyumlu oluşturulan proje amaçları bakımından yalnızca Malmö kenti için değil Dünya çapında inceleme konusu olmuştur (Fraker,2013). Projenin temel amaçları incelendiğinde kentsel stresi azalttığı görülmektedir (Tablo 4). Kentlerin durumundan kaynaklı faktörler, kentsel çevreden kaynaklanan faktörler, sosyal yaşam kaynaklı faktörler, sağlık kaynaklı faktörler ve ekonomik kentsel faktörlerin tamamına yönelik kentsel stresi azaltıcı etki bulunmaktadır.

Şekil 2. Dönüşüm projesi başlamadan önceki durum (Fraker, 2013)



Şekil 3. Dönüşüm projesinden sonra vaziyet planı (Fraker, 2013)



Tablo 4. Projenin amaçları ve kentsel stres faktörlerine etkileri (Fraker, 2013 ve Koene, 2018 referans alınarak tarafımızdan üretilmiştir.)

Proje Adı ve Yeri	Projenin amaçları (Fraker,2013)	Kentsel Stres Faktörü	Etki Ettiği Kentsel Stres Faktörü Alt Bileşenleri	Kentsel Strese Etkisi
Bo01, Malmö İsveç	Çevresel etkiyi azaltmak.	Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler	Hava, gürültü ve ışık kirliliğinin azaltılması, iklimsel tehlikelerin dikkate alınması	Azaltıcı
	Enerji verimliliğini arttırmak ve Yenilenebilir hammadde kullanımını desteklemek.	Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler	Mimari ve kentsel tasarım düzenlerinin toplumun yapısına göre şekillendirilmesi, konut koşullarının iyileştirilmesi,	Azaltıcı
	Yeniden kullanım ve geri dönüşümü arttırmak	Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler	Çöplerin azalması, mimari ve kentsel tasarım düzenlerinin toplumun yapısına göre şekillendirilmesi,	Azaltıcı
	Biyçeşitliliği korumak ve güçlendirmek.	Kentsel Çevreden Kaynaklanan Faktörler	Yeşil alanların varlığının sürdürülmesi	Azaltıcı
	Tehlikeli kimyasalların kullanımını azaltmak.	Sağlık Kaynaklı Faktörler	Mikrop, bakteri ve virüslere maruz kalma endişesinin azaltılması	Azaltıcı
	Yeni iş imkanları oluşturmak.	Ekonomik Kentsel Faktörler	İşsizliğin azaltılması, aile satın alım gücünün artırılması	Azaltıcı
	Sürdürülebilir kalkınmaya geçişte insanların katılımını teşvik etmek ve kolaylaştırmak	Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler	Cinsiyet eşitsizliğinin ortadan kaldırılması, güvenlik hissinin artırılması, sosyal destek ağlarının artırılması	Azaltıcı

Proje kentsel dönüşüm boyutları yönüyle ele alındığında sosyal yaşam kalitesinin artırılması, ekonomik açıdan yeni istihdam alanları yaratması ve ticaret hayatının yanı sıra turistik açıdan getirisi de alanı canlandırmıştır. Planlama boyutu ile birçok farklı projeye ilham kaynağı olan proje sürdürülebilir kentsel tasarım ilkelerinin örneklerinden biri haline gelmiştir. Hukuki yönüyle hükümet politikalarına bağlı olarak uygulanmış olması ve girişimcilerin finansman desteği ile getirisi yüksek bir proje olmuştur. Ayrıca proje yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik attığı adımlar ile enerji verimliliği açısından avantajlı konuma geçmiştir. Tablo 5'te kentsel dönüşümün boyutlarının proje bağlamında ele alınarak kentsel stres faktörleri üzerindeki etkisi belirlenmektedir.

Amaçlarında olduğu gibi boyutları ile de ele alındığında Bo01 kentsel dönüşüm projesi kentsel stresin azaltılmasında öncü bir proje niteliği taşımaktadır. Liman ve tersane bölgesinin sürdürülebilir bir kentsel yaşam alanına çevrildiği projenin çok yönlü ele alınan boyutları yerel halka ve Malmö yerel yönetimine kazanım olarak geri dönmüştür. Ölçülen performans temelinde Bo01, küçük bir kentsel mahalle ölçekli proje için enerji arzının yüzde 100'ünü yerel, yenilenebilir kaynaklardan sağlamanın mümkün olduğunu göstermektedir (Fraker, 2013).

Tablo 5. Projenin kentsel dönüşüm boyutları ve kentsel stres faktörlerine etkisi (Özden, 2008, Fraker, 2013 ve Koene, 2018 referans alınarak tarafımızdan üretilmiştir.)

Proje Adı ve Yeri	Projenin boyutları	Kentsel Stres Faktörü	Etki Ettiği Kentsel Stres Faktörü Alt Bileşenleri	Kentsel Strese Etkisi
Bo01, Malmö İsveç	Sosyal Boyut	Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler	Yerel halkın planlamaya katılımı sağlanması yoluyla cinsiyet eşitsizliğinin ortadan kaldırılması, güvenlik hissinin artırılması	Azaltıcı
	Ekonomik Boyut	Ekonomik Kentsel Faktörler	Yeni iş imkanları oluşturularak işsizlik azaltılmış, yenilenebilir enerji kullanımı ve geri dönüşüm bilinci kazandırılarak ailenin satın alım gücü artırılması	Azaltıcı
	Planlama boyutu	Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler, Kentsel Çevreden Kaynaklı Faktörler, Sağlık Kaynaklı Faktörler	Yeşil alanların varlığının artırılması, deniz ile erişilebilirliğin artırılması, farklı mimari yapılar ile mimari sıkıcılıktan kurtulması, sürdürülebilir kentsel tasarım ile yağmur suyundan, enerjiye toplu ulaşımdan bisiklet kullanımının yaygınlaştırılması ile trafiğin azaltılmasına katkı sağlanması	Azaltıcı
	Hukuki boyut	Sosyal Yaşam Kaynaklı Faktörler, Kentsel Çevreden Kaynaklı Faktörler, Kentlerin Durumundan Kaynaklı Faktörler	Hükümetin politikaları doğrultusunda katılımcılık ilkesi ile hem üniversitenin hem girişimcilerin hem de yerel halkın birlikte projeyi şekillendirmesi, Dünya çapında örnek oluşturması	Azaltıcı

5. Sonuç ve Değerlendirme

Dünya genelinde bireyler, kendilerini sürekli bir şekilde baskı altında hissetmektedirler. Bu baskının yarattığı stres ise yalnızca bireylerin sağlığını değil toplumun da yaşantısını doğrudan etkilemekle birlikte yaşam kalitesini de düşürmektedir. Toplumsal baskının yarattığı etkiler ile ilgilenen kentsel stres, faktörleri ile birlikte ele alınması gereken önemli bir konudur. Literatürde tam anlamıyla tanımlanmış olmasa da kentli nüfusun her gün hayatlarının bir parçası olarak kentsel stres, çevresel, ekonomik ve sosyal anlamda sağlıklı yaşam koşullarına etki etmektedir. Bu çalışma ile de kentsel stres konusu üzerinde farkındalık oluşturmak ve gelecekte de kentsel stres konusunun yapılacak projelerde ele alınması gereken önemli bir parametre halinde düşünülmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Kentsel stresin azaltılmasına yönelik atılacak adımların geleceğin kentleri ve kentlileri için her yönüyle önemi bulunmaktadır. Özellikle yerel yönetimler ile hükümetlerin toplumun refah seviyesini artırıcı çözüm önerileri kentsel stresin azaltılması için birer fırsat haline gelecektir.

Bir uygulama aracı olarak gerek yerel yönetimler gerekse hükümetin başvurduğu kentsel dönüşüm, doğru uygulandığında, sağlıklı koşulların iyileştirilmesi, yaşam kalitesinin artırılması gibi sonuçlar yaratmakta olup kentsel stres faktörlerinin azaltılmasında anahtar bir rol üstlenebilmektedir. Kentsel dönüşümün teorik olarak gerek amaçları gerek boyutları incelendiğinde kentsel strese yol açan faktörlerin azaltılmasında ya da tamamen ortadan kaldırılmasında rol oynayabileceği açık olarak görülmektedir. Özellikle sosyal yaşam kaynaklı, ekonomik kentsel faktörler, kentlerin durumundan ve kentsel çevreden kaynaklı stres faktörlerinin neredeyse tamamı, kentsel dönüşüm uygulamaları ile önlenilecek veyahut azaltılabilecek olduğu görülmektedir. Kentsel dönüşümün amacına uygun olarak gerçekleştirilmesi, sosyal ve ekonomik boyutlarının yanı sıra yerel halkın da değerlendirilerek sürece katılması, onların ihtiyaç ve taleplerine cevap vermesi de son derece önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan, Bo01 Malmö, ekonomik cazibesini kaybetmiş bir liman alanı iken, Dünya çapında başarılı bir kentsel dönüşüm projesi olarak sürdürülebilir ve ekolojik karma bir yaşam alanı ile kentsel stresin azaltıldığı bir örnektir. Belirlenen genel amaçları ile ele alınan kentsel dönüşüm boyutları ile kentsel stres faktörlerinin tamamında azaltıcı etkiler oluşturduğu görülmüştür. Bo01 projesinde ele alınan amaçlar gibi sürdürülebilir ve ekolojik temelli çalışmalar ve kentsel dönüşüm projeleri ile kentsel stresin azaltılması mümkün olacaktır. Araştırma kapsamında ele alınan bu kentsel dönüşüm projesi kentsel stres yönüyle düşünülmesi de uygulamada ortaya konan sonuçları ile kentlilerin stres seviyesini azaltmayı başarmıştır. Sonuçta başarılı olarak görülen, Bo01 kentsel dönüşüm projesi kentsel stresin azaldığı, yaşam kalitesinin yüksek olduğu bir yerleşim alanına dönüşmüştür. Bo01 projesinde olduğu gibi sürdürülebilir ve ekolojik planlama ilkeleri ve doğru kentsel dönüşüm uygulamaları ile kentsel stresin azaltılmasına yönelik atılacak adımlar yaşam kalitesini arttıracak gibi kentin yapısına da olumlu katkılar sunabilecektir. Gelecekte de kentsel dönüşüm projelerinin kentsel stres faktörlerini gözeterek ele alındığında daha kaliteli ve stresten arındırılmış yaşam alanlarını oluşturmak mümkün olabilecektir.

Kaynakça

- Austin, G. (2013). "Bo01, Malmö, İsveç Örneği Ve Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi". Yeşil Bina Dergisi. 8(3): 34-50. doi: 10.3992 / jgb.8.3.34. ISSN1552-6100.
- ATAÖV, A., OSMAY, S. (2007), "Türkiye'de Kentsel Dönüşüme Yöntemsel Bir Yaklaşım", Middle East Technical University Journal of The Faculty of The Architecture, Vol. 2, 57-82.
- Fraker, H. (2013). The hidden potential of sustainable neighborhoods: Lessons from low-carbon communities (pp. 150-155). Washington, DC, USA: Island press.
- Kayacan, T. (2009). Gecekondu Alanlarının Kente Entegrasyonu, Zeytinburnu ve Karanfilköy Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Koene, M. (2018). Urban Stress: Research into the reduction of urban stress through urban design, MSc Thesis, TU Delft, The Netherlands.
- Özden, P. P. (2008). "Kentsel Yenileme: Yasal-Yönetimsel Boyut, Planlama ve Uygulama", İmge Kitabevi Yayınları, İstanbul
- Polat, S., Dostoğlu N. (2007). "Kentsel Dönüşüm Kavramı Üzerine: Bursa'da Kükürtlü ve Mudanya Örnekleri". Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 12, Sayı 1, 61-76.
- Şişman, A., Kibaroglu, D. (2009). 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. "Dünya'da ve Türkiye'de Kentsel Dönüşüm Uygulamaları", Ankara: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası.
- Yedekçi, G. (2015). Dünya'da ve Türkiye'de Uygulanmış Örnekleri ve Özgün Dönüşüm Modeli Önerisi İle Kentsel Dönüşüm. Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi.
- Url-1. <https://use.metropolis.org/case-studies/city-of-tomorrow>
- Url-2. <https://www.flickr.com/photos/mariaekclind/14808414873/>



WLAN Uygulamaları için Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici Tasarımı

Aysu Belen^{1*}

^{1*} İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun meslek Yüksek Okulu, Hibrid ve Elektrikli Araçlar Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5038-424X), aysu.belen@iste.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 8 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.920045)

ATIF/REFERENCE: Belen, A. (2021). WLAN Uygulamaları için Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 665-668.

Öz

Kablosuz haberleşme sistemlerinin gelişmesiyle birlikte bu alanda kullanılacak sistemlerin alt birleşenlerine olan talep giderek artmaktadır. Alıcı sistemlerde düşük gürültülü kuvvetlendirici (LNA) anahtar rol oynamaktadırlar. Bu elemanlar sistemin genel performansında önemli bir rol oynamaktadırlar. Sistem girişindeki düşük seviyedeki sinyalleri alarak yükseltirler bu aşamada olabildiğince düşük gürültü seviyesine sahip olması önemlidir. Bu çalışma kapsamında 5.6GHz WLAN uygulamaları ile uyumlu düşük gürültülü kuvvetlendirici (LNA) tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. BFP720 SiGe transistörlü LNA tasarımı yapılarak sistem içindeki performansı incelenmiş ve sağladığı yüksek kazanç yanı sıra yüksek kesim voltajına olanak sağladığı için bu transistörün kullanımına karar verilmiştir. Tasarımda FR4 taban malzemesi olarak seçilmiştir. Tasarımlarda AWR microwave Office yüksek frekans programı kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerde transistör 2.8V ve 10mA ile beslenerek 5.6GHz bandında 13dB kazanç, $S_{11} < -10$ dB elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: LNA, Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici, WLAN, BFP720.

Low Noise Amplifier Design for WLAN Applications

Abstract

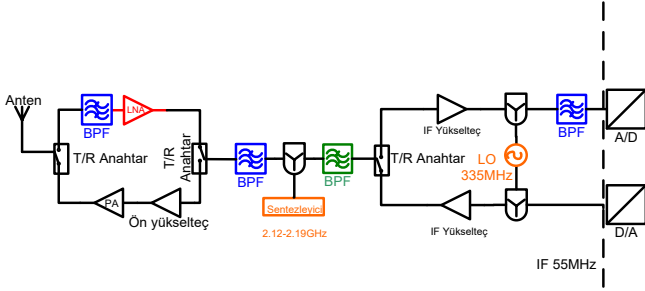
With the recent rapid development in wireless communication systems the demands to its sub-systems also had increased. One of the key element in sub-systems is Low Noise Amplifier (LNA) stage. The performance of this stage has the highest effect on the overall performance of the whole system. Amplification of the low amplitude input signals with the possible lowest noise is at most importance. Herein, design and its realization of a high performance, low cost, and wideband Low Noise Amplifier (LNA) for 5.6 GHz WLAN application had been taken into the study. BFP720 SiGe had studied and determined as an optimal transistor for the aimed LNA design due to its high gain and cut-off voltage values. The aimed LNA design had been simulated in AWR microwave Office high frequency simulator using FR4 material. Based on the experimental results, with a DC biased condition of 2.8 V 10 mA, the designed achieves a gain of 13 dB with S_{11} value of less than -10 dB at 5.6 GHz

Keywords: LNA, Low Noise Amplifier, WLAN, BFP720.

* Sorumlu Yazar: aysu.belen@iste.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin hızlı büyümesiyle birlikte, yeni nesil haberleşme sistemlerinde daha geniş bant talebi ortaya çıkmıştır. Yeni nesil haberleşme sistemlerinde yaşanan bu talep bilgiye kesintisiz ve hızlı erişim isteğinde kaynaklanmaktadır. Kablosuz haberleşme sistemlerindeki taşınabilir cihaz sayısının ve çeşitliliğinin artması söz konusu cihazların performansında ve hassasiyetini önemli hale getirmiştir. Bütünleşmiş devre yapıları ile gerçekleştiriliyor olmaları, düşük maliyetleri, hızlı veri alışverişine uygun kablosuz haberleşme protokolü olan IEEE 802.11b/g, 2.4–2.5 GHz bandında geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bu nedenle kablosuz yerel alan ağ (WLAN) (Ulrich 2000) sistemlerinin, sivil ve askeri uygulamalar gibi çok geniş banda sahip sistemlerin tasarım ve incelemesi ciddi bir araştırma konusudur (David 1998), (Klude ve Dathe 2003), (Akyildiz 2002), (Alaybeyoğlu 2009). Alıcı verici sistemlere olan bu eğilimin sürekli artması nedeniyle; özellikle tüketiciler, düşük maliyetli, düşük güç tüketimin sahip (mobil ve taşınabilir ürünler), küçük boyutlar istemektedirler (Esame ve Kaynak 2006).



Şekil 1: RF Alıcı-Verici Blok Diyagramı

Şekil 1'de haberleşme sistemleri için alıcı verici blok diagramı verilmiştir. Ortamdan anten vasıtasıyla alınan elektromanyetik dalgalar RF ön uç modüle aktarılarak analog sinyal temel band sinyal formuna dönüştürülerek dijital dönüştürme kısmına getirilir. Alıcı kısmında blok şemasında görüldüğü üzere anten yer almaktadır son yıllarda antenler üzerine literatürde bir çok yenilikçi çalışmaya bulunmaktadır Duyarlılık ve seçicilik parametreleri RF ön uç modüllerde alıcı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken önemli parametreler arasındadır (Çalışkan 2019), (Koçer ve Aydemir 2020), (Danacı ve Palandöken). LNA katı alıcı kısımdaki en önemli tasarım katı olmakla birlikte alıcı kısmın hassasiyetini belirlemektedir. Bu çalışma kapsamında RF ön uç modüller için, WLAN uygulamalarında kullanılmak üzere LNA tasarımı, üretimi ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2. RF Yükselteç Tasarımı

Gelişen kablosuz haberleşme sistemleri uygulamaları, farklı haberleşme protokolleri arasındaki geçişlerin kolay olmasını gerektirmektedir. Bu durum çoklu standartlara sahip alıcıların tasarlanmasına neden olmuştur. Şekil 1'de sayısal haberleşme sistemleri için alıcı verici blok diagram gösterilmiştir. Alıcı kısımda en önemli blok düşük gürültülü yükselteç bloğudur. Alıcı kısımda, ortamdan alınan sinyal seviyesinin çok düşük olmasından dolayı bu sinyallerin herhangi bir işlem yapılmadan önce düzgün olarak yükseltmeleri gerekmektedir. Bunun nedeni yükseltme işleminde gürültü seviyesinin ana sinyali geçmesidir. Bu durumda alınan sinyal bastırılmış olacaktır. Bu nedenle düşük gürültülü kuvvetlendirici bloğunun gürültü

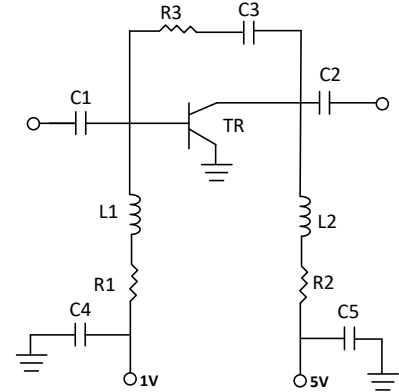
katkısının minimize ederken, alınan sinyali olabildiğince yükseltmesi istenmektedir. Çünkü alıcının ilk kademesinin gürültü faktörü, devrenin toplam gürültü faktörünü baskın şekilde etkiler. Bir diğer önemli hususta düşük gürültü hedeflenirken, giriş empedanlarında 50 ohm ile uyumlandırılmasını sağlamaktır (Hashemi ve Hajimiri 2002), (Hove ve Faaborg 2004). Küçük sinyal kuvvetlendiricisi tasarlarken seçilen transistör modelinin S-parametresi dosyası üretici firmalardan temin edilebilmektedir (Doddamaş ve Harischandra 2007), (Esame ve Kaynak 2006), (Stece,1999). Bu parametrelerin yanında kararlılık parametreside sistem için önemli bir parametredir (Demirel 2017), (Mahouti 2012).

Bu çalışmada saçılım parametreleri, gürültü şekli, kararlılık, 1dB sıkıştırma noktası gibi önemli LNA tasarım parametreleri göz önünde bulundurularak başarılı başarılı bir yükselteç yapılması amaçlanmıştır.

3. WLAN Uygulamaları için LNA Tasarımı

Endüstriye uygulamalar için RF derve tasarımı için çeşitli yazılım paketleri bulunmaktadır. Tasarım esnekliği ve çözüm metodu nedeniyle Advancing the Wireless Revolution Microwave Office (AWR Office) programı kullanılmıştır. 5.6GHz frekans bandı WLAN uygulamaları için düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı yapılmıştır. Tasarımda infenion firması tarafından üretilen BFP720 SiGe transistörü (infion) kullanılmıştır. Bu transistörün seçilmesinin sebebi yüksek geçiş frekansına (ft):45GHz, düşük gürültü şekline sahip olması ve yüksek kazanç imkân vermesidir. LNA tasarımında dielektrik sabiti 4.6, yüksekliği 1.58mm olan FR4 alt taban malzemesi kullanılmıştır.

Şekil 2'de tasarlanan devrenin şematik gösterimi sunulmuştur. Devre tasarımında kullanılan R-L-C elemanlarının değerleri tablo 1'de verilmiştir.



Şekil.2 WLAN Uygulamaları için Tasarlanan LNA şematik gösterimi

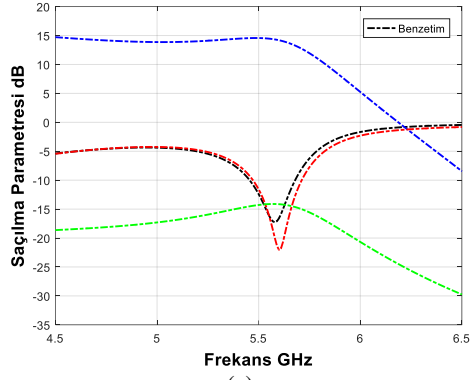
Tablo 1. Mazleme parametreleri

C1	330pF	R1	1.5Kohm
C2	330pF	R2	100ohm
C3-C4-C5	330nF	R3	3.9Kohm
L1	33 nH	L2	59nH

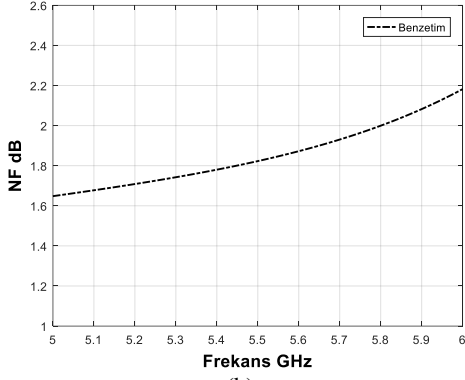
Şekil 3(a)'da tasarlanan LNA devresinin saçılma parametreleri verilmiştir. Devrenin S_{11} ve S_{22} değerleri -15dB altında elde edilmiştir. S_{21} iletim parametresi 14.3dB ve S_{12} izolasyon parametresi ise -15dB olarak simülasyonlarda elde edilmiştir. Tasarlanan devrenin gürültü şekli (NF) şekil 3 (b)'de 5.6GHz de 1.87dB olarak elde edilmiştir.

4. WLAN Uygulamaları için LNA Üretimi

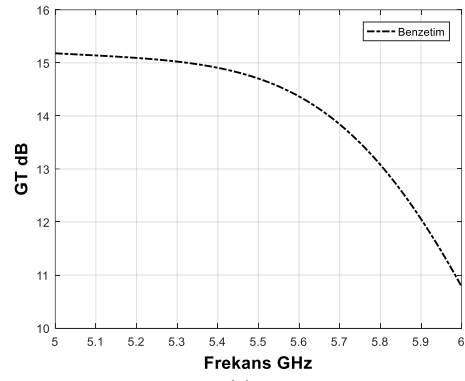
5.6GHz frekans bandı WLAN uygulamaları için düşük gürültülü kuvvetlendirici üretimi gerçekleştirilmiştir. LNA devresi BFP720 SiGe Transistörü ve yüzey montaj smd malzemeler kullanılarak üretilmiş ve ölçümler N5234A PNA-L Microwave Network Analyzer kullanılarak elde edilmiştir. Devre 3.3V besleme gerilimi ile çalışmaktadır. Şekil 4’de üretilen devrenin baskı devre modeli ve üretilen devre gösterilmiştir. Üretilen LNA devresinin baskı devre gösterimi şekil 4(a) da gösterilmiştir. Devrenin boyut olarak 33x22mm²’lik alan kaplamaktadır. SMD malzemelerin kılıfları 0805 ve 0603 olarak kullanılmıştır. Şekil 4(b) de üretilen devre verilmiştir. Devre üzerine eleman yerleşimi ve besleme bağlantıları yapılmıştır. Devre üretimi LPKF S63 cihazı kullanılarak bakır kazıma işlemleri yapılmıştır. Şekil 4(c) de ölçümleri yapılan LNA devresinin port bağlantıları gösterilmiştir.



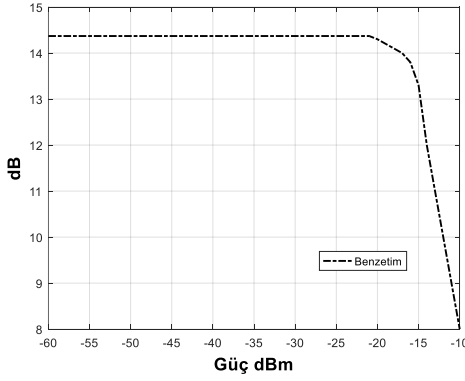
(a)



(b)



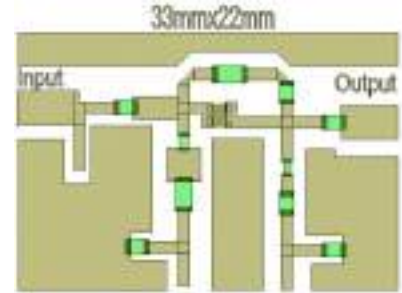
(c)



(d)

Şekil.3 Tasarlanan LNA (a) S Parametreleri (b) Gürültü Şekli (c) Kazanç (d) 1 dB Sıkıştırma Noktası

Şekil 2’de şematik gösterimi verilen LNA devresinin kazanç benzetim sonucu şekil 3(c)’de 14.3dB olarak elde edilmiştir ve 1dB sıkıştırma noktası simülasyon sonuçları şekil 3(d)’de -18dBm olarak elde edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

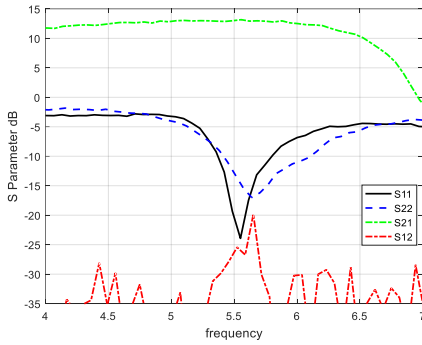
Şekil.4 WLAN Uygulamaları için Tasarlanan LNA (a) Baskı Devre gösterimi (b) Üretilen Devre (c) Ölçüm port bağlantıları

Tablo 2’den görüldüğü üzere bu çalışmada, WLAN standartları ile uyumlu, yüksek performanslı, düşük maliyetli, alıcı-verici sisteminin alt ünitelerinden LNA tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Tablo 2’de LNA devresinin benzetim ve ölçüm sonuçları kıyaslanmıştır. Tasarlanan devrenin kazancı ~13 dB olarak tasarlanmıştır. Düşük gürültülü kuvvetlendirici devresinde

yapılan simülasyonlarda devreye 3.3 V uygulandığında 36.3mW güç harcamakta ve 1 dB sıkışma noktası -18dBm olarak elde edilmiştir. LNA boyutu 33x22 mm² olarak tasarlanmış ve üretilmiştir.

Tablo 2. WLAN Bandı LNA Performans Sonuçları

	Benzetim	Ölçüm
Vcc	3.3	3.3
Çalışma Frekansı [MHz]	5600	5600
Gürültü Şekli (dB)	1.87	---
Kazanç (dB)	>14	13
Giriş Geri Dönüş Kaybı (dB)	<-17	<-15
Çıkış Geri Dönüş Kaybı (dB)	<-22	<-15
S ₁₁ Dip Noktası	5600MHz	5500MHz
Güç Tüketimi	28.3mW	36.3mW
Akım Tüketimi	10mA	11mA
Kararlılık (K)	>1	>1
Boyut (mm)	33x22	33x22



Şekil 5 WLAN Uygulamaları için Üretilen LNA S Parametresi Sonuçları

Şekil 5'de üretilen devrenin 4-7GHz frekans bandında ölçülen S parametreleri değerleri gösterilmektedir. Giriş ve çıkıştaki geridönüş kaybı 5.6GHz de -15dB seviyesinin altında ölçülmüştür. İzolasyon değerleri -20 dB altında ölçülmüştür. S₂₁ iletim değeri ise 13dB olarak ölçülmüştür.

5. Sonuç

Bu çalışmada, WLAN standartları ile uyumlu düşük gürültü kuvvetlendirici (LNA) üretilmiş ve ölçüm sonuçları verilmiştir. BFP720 SiGe transitörlü LNA tasarımı yapılmıştır. Tasarımda Microwave Office AWR programı yazılımı kullanılarak elde edilmiş olup, ölçümler N5234A PNA-L Microwave Network Analyzer kullanılarak elde edilmiştir. Devrede taban malzemesi olarak FR4 cam elyaf kullanılmıştır. Üretilen devrenin kazancı ~13 dB, -10dB band genişliği 5.45-5.7GHz olarak ölçülmüştür. Düşük gürültülü yükselteç devresinde yapılan simülasyonlar da 1 dB sıkışma noktası -18dBm olarak elde edilmiş olup, devre 3.3V uygulandığında 36.3mW güç harcamaktadır. Tasarlanan DGY'nin boyutu 33x22 mm² olarak tasarlanmış ve üretilmiştir.

Sonuç olarak tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen düşük gürültülü kuvvetlendiricinin 5.45 GHz ile 5.7GHz arasında verimli bir şekilde kullanılabilirliği görülmektedir. Ayrıca tasarlanan kuvvetlendiricinin az hacim kaplaması ve düşük maliyete sahip olması önemli avantajlarındandır. Üretilen kuvvetlendirici WLAN sistemleri için tasarlanacak modüllerde

kullanılarak bilimsel araştırmalarda ve ticari ürün uygulamalarda kullanılmak üzere değişik uygulamalarda kullanılabilir.

Kaynakça

- Akyildiz, I F, Su, W, Sankarasubramaniam, Y, Cayirci, E. (2002). Wireless Sensor Networks-A Survey. Elsevier Computer Networks, (38), 393-422.
- Alaybeyoğlu, A, Kantarcı, A, Erciyes, K . (2009). Telsiz Duyarga Ağlarında Hedef İzleme Senaryoları. Akademik Bilişim 2009 konferansı, Bildiri No: 69, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Çalışkan, A, Kızılay, A, Belen, M, Mahouti, P . (2019). ISM Band Haberleşme Uygulamaları İçin Origami Anten Tasarımı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (16) , 785-791 . DOI: 10.31590/ejosat.573379.
- Danacı, H, Palandöken, M . (2020). A Novel Electronically Reconfigurable Antenna Design for RFID and GSM 900 MHz Applications . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Özel Sayı 2020 (ICCEES) , 304-307 . DOI: 10.31590/ejosat.804511.
- Demirel, S, Güneş, F, Mahouti, P . (2017). Adjoint sensitivity analysis of the T, Π, and L types of microstripline low noise amplifiers. Int. J. Numer. Model., (30), e2133. doi: 10.1002/jnm.2133.
- Doddamani, N D, Nandi, A V, Chandra, H . (2007). Design of SPDT Switch, 6 Bit Digital Attenuator, 6 Bit Digital Phase Shifter for L-Band T/R Module using 0.7 μm GaAs MMIC Technology. International Conference on Signal Processing, Communications and Networking. ICSCN '07. pp.302 – 307.
- Esame, O, Kaynak, M, Kavlak, C, Bozkurt, A, Tekin, I, Gürbüz, Y . (2006). IEEE 802.11a Standard Uyumlu, RF Alıcı-Verici Alt-Blok Devrelerinin Gerçeklenmesi. URSl, Hacettepe Üniversitesi.
- Hashemi, H, Hajimiri, A . (2002). Concurrent Multi-Band Low-Noise Amplifiers Theory, Design and Applications, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, (50), no. 1, pp. 288-301.
- Hove, C, Faaborg, J . (2004). 0.35 μm CMOS T/R Switch for 2.4 GHz Short Range Wireless Applications., Analog Integrated Circuits and Signal Processing, (38),pp. 35-42. <https://www.infineon.com/cms/en/product/rf-wireless-control/rf-transistor/ultra-low-noise-sigec-transistors-for-use-up-to-12-gHz/bfp720/>
- Kluge, W, Dathe, L, Jaehne, R, Ehrenreich, S, Eggert, D . (2003). A 2.4GHz CMOS Transceiver for 802.11b Wireless LANs. IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 360–361.
- Koçer, M , Aydemir, M . (2020). Microstrip Patch Antenna Design for Military Satellite Communication . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Özel Sayı 2020 (ICCEES) , 142-147 . DOI: 10.31590/ejosat.801959.
- Stece, C. (1999). RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House.
- Mahouti, P , Güneş F, Demirel, S . (2012). Honey bees mating algorithm applied to feasible design target space for a wide-band front- end amplifier. 2012 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, pp. 251-255, doi: 10.1109/ICUWB.2012.6340411.
- Pozar, D. M. (1998). John Wiley&Wiley, Microwave Engineering.
- Ulrich, L R . (2000). John Wiley&Sons, RF/Microwave Circuit Design For Wireless Applications.



The Leukemia Healthy and Unhealthy Detection with Wavelet Transform Based On Co-Occurrence Matrix and Support Vector Machine

Salma Albargathe¹, Akram Gihedan², Abdelhafid Mohamed³, Mansur Mohamed⁴, Tarek Nagem⁵, Javad Rahebi⁶

¹ Omar Al-Mukhtar University, Faculty of Art and Sciences, Department of Computer, Algoba, Libya, (ORCID: 0000-0001-6892-2210), albrgate83@gmail.com

² Omar Al-Mukhtar University, Faculty of Education, Department of Computer, Algoba, Libya, (ORCID: 0000-0002-8020-5895), akram_kalii2010@yahoo.com

³ College of Computer Technology, Faculty of Information Technology, Department of Computer, Benghazi, Libya, (ORCID: 0000-0001-8119-334X), hafithmathe@yahoo.com

⁴ Azzytuna University, Faculty of Information Technology, Department of Computer, Tarhuna, Libya, (ORCID: 0000-0002-8851-473X), mohmansur1974@gmail.com

⁵ The higher institute of engineering professional-Almajurie, Faculty of Software Engineering, Department of Computer, Benghazi, Libya, (ORCID: 0000-0002-1347-4323), tarek.nagem@yahoo.com

⁶ Istanbul Ayyansaray University, Faculty of Software Engineering, Department of Software Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9875-4860), cevatrahebi@ayvansaray.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.892170)

ATIF/REFERENCE: Albargathe, S., Gihedan, A. Mohamed, A. Mohamed, M., Nagem, T. & Rahebi, J (2021). The Leukemia Healthy and Unhealthy Detection with Wavelet Transform Based On Co-Occurrence Matrix and Support Vector Machine Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 669-674.

Abstract

Leukemia is a malignant disease and belongs in a broader sense to Cancers. There are many types of leukemia, each of which requires specific treatment. Leukemia is almost one-third of all cancer deaths in children and young people. The most common type of leukemia in children is acute lymphoblastic leukemia (ALL). In this paper, a new approach is implanted on Leukemia ALL database. For the method the wavelet transform is used for feature extraction, the gray level co-occurrence matrix is used. Also, for classification, the SVM (Support Vector Machine) method is used. The proposed method is the best in applying the system designed to the Local Binary Pattern (LBP) and Histogram of Orientation (HOG) methods. This system aims to detect, diagnose, and verify leukemia cells from microscopic images to get high accuracy, efficiency, reliability, less processing time, smaller error, not complexity, fast, and easy to work. The system was built using microscopic images by examining changes in texture, colors, and statistical analysis. The success rate was 96.1667% for cancer data and 99.8833% for non-cancer data.

Keywords: Leukemia, Wavelet transform, Image processing, Support Vector Machine.

1. Introduction

Acute lymphoblastic leukemia (ALL) is acute leukemia caused by malignantly degenerate precursor cells of the lymphocytes. This results in a rapidly progressing bone marrow failure (diminution of the bone marrow function), i.e., a weakening of healthy blood formation with deficiency of erythrocytes (red blood cells) and thrombocytes (blood platelets). This is accompanied by increasing general weakness and a tendency to bleed. The number of leukocytes (white blood cells) can be initially increased, average, or even reduced. Due to the relative deficiency of healthy, functional leukocytes, there is an immunodeficiency with often difficult and potentially life-threatening infections. Treatment is utilizing chemotherapy and, in some cases, radiation therapy. While most of the patients were still alive in just 30-40 years, they are now able to be cured in over 50% of adults and 80% of all children with intensive chemotherapy. The individual healing prospects depend strongly on the existence of certain risk factors [1, 2]. The Blood smear of a patient with ALL with blasts (leukemia cells) is shown in figure 1

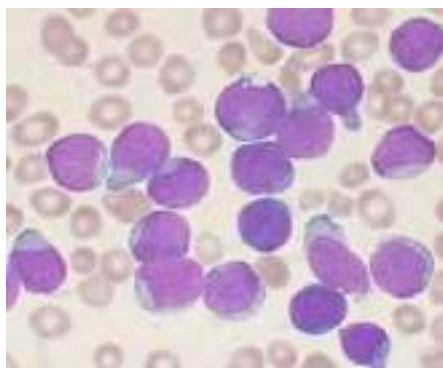


Figure 1. Blood smear of a patient with ALL with blasts (leukemia cells).

The ALL is a rare disease with an incidence of about 1.5 new cases / 100,000 a year related to all age groups. There is an overweight of male patients (1.4 to 1). For Germany, about 500 new cases of adults and about 500 new cases of children are estimated each year. Exact numbers do not exist for adults because of the absence of a central cancer registry. Figures for children under 15 are based on data from the German Children's Cancer Registry, which is estimated to contain 90% of all cases CML [3]. The lifelong risk of developing acute lymphatic leukemia is thus about 1 to 838, that is, about one person under 838 will become ill in the course of their lifetime. Distribution over age groups shows a peak in childhood (6.5 / 100,000 in children under 4 years) and a second, lower in older age (1.5 / 100,000 in over 80s). In adults, ALL accounts for less than 15% of all acute leukemias (i.e. more than 85% of all diseases are acute myelogenous leukemia). In children this is the other way around. ALL is the most common malignancy in childhood [4]. The cause of the disease is genetic changes in a lymphatic cell that lead to the malignant (malignant) transformation of this cell. These genetic changes are (apart from rare special cases) acquired in the course of life and neither inherited nor inheritable, since the germline cells (ova, sperm) are not affected [5]. Cancer continues to be a major health problem in the 21st century. According to the report in 2013, ALL accounted for 74 per cent of new leukemia cases in children and young people under 20 [3].

Our paper work aims to get the high accuracy for diagnosis of leukemia cell from microscope images. We will try to get good answer and good prediction percent. We will compare our result with other methods. Also for simulation result we will implement on Acute Lymphocytic Leukemia (ALL) database.

1.1 Classification and diagnostics

The classification and diagnosis of leukemias is based on morphological and immunological properties of leukemia cells. Increasingly, cytogenetic and molecular-biological features have become increasingly important in recent years. Depending on the cell type, a distinction Concerned initially myeloid of, lymphoid leukemias. Myeloid leukemias are caused by the precursor cells of the granulocytes, in the broader sense of the erythrocytes and platelets, lymphoid leukemia affect the lymphocytes and their precursor cells [6]. Furthermore, a distinction is made between acute and chronic leukemias based on the degree of bone marrow and blood leukemia cells' immaturity. In acute leukemias, mainly cells are found in a very early, immature stage, almost without function. In chronic leukemias, leukemia cells are increasingly being observed, which are significantly more developed and already resemble mature blood cells but are not yet fully functional [7]. The suspected diagnosis is often already made of the blood count and differential blood picture, but the exact classification usually requires a bone marrow puncture.

1.2 Types of Leukemia

The most important types of leukemia are:

- Acute myeloid leukemia (AML)
- Chronic myelogenous leukemia (CML) is to the chronic myeloproliferative diseases counted
- acute lymphoblastic leukemia (ALL)
- Chronic lymphocytic leukemia (CLL) is one of the low-grade non-Hodgkin's lymphomas

If the leukemia is caused by the prolymphocytes (a certain form of lymphocyte precursors), prolymphocytic leukemia (PLL) is considered more aggressive than CLL [8]. Also related to CLL is hairy cell leukemia (HCL), in which leukemia starts from very advanced lymphocyte precursors. The name is given to the hairy cytoplasmic lesions of the leukemia cells [8].

2. Material and Method

2.1. The wavelet transform

The wavelet transform method was developed by the Bulgarian mathematician Alfréd Haar and the Belgian mathematician Ingrid Daubechies [9]. It is one of the most popular methods used in the last 25 years and they use this wavelet transform in image compression [10]. Image methods are often preferred. Apart from this, wavelet transform is also used effectively in various image processing applications such as image recognition. The acquisition of a wavelet transform of a function is obtained by determining the wavelet coefficients by dividing that function into different resolutions. For this process, a function called the main wavelet is correlated with the function to be transformed at different times and widths, and corresponding wavelet coefficients are obtained. In two-

dimensional signals, wavelet transform is performed by passing a series of low and high pass filters in a repetitive manner. Each filtering provides summary and detail coefficients at a different resolution for the image. This process can continue until the image is reduced to a single pixel. Mathematically two-dimensional wavelet transform is expressed as follows.

$$W_{\varphi}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{M \cdot N}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) \quad (1)$$

$$W_{\psi}^i(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{M \cdot N}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j_0, m, n}^i(x, y) \quad (2)$$

Where $f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{M \cdot N}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} W_{\varphi}(j_0, m, n) \varphi_{j_0, m, n}(x, y)$

$$+ \frac{1}{\sqrt{M \cdot N}} \sum_{i=H, V, D} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_m \sum_n W_{\psi}^i(j, m, n) \psi_{j, m, n}^i(x, y) \quad (3)$$

to a time window expressed by a Gaussian function[11]. Finally, the term wavelet was introduced into mathematical language by Jean Morlet and Alex Grossmann in 1984. Term originally French, it was translated into English by wavelet, from the terms wave (wave) and let the diminutive (small) [12]. Yves Meyer, recognized as one of the founders of wavelet theory, gathered in 1986 all previous discoveries (it numbered 16) then defined orthogonal wavelets.

In the same year, Stéphane Mallat connected wavelets and multiresolution analysis [13, 14]. Finally, Ingrid Daubechies devised in 1987 orthogonal wavelets called Daubechies wavelets easily implementable, and used in the JPEG 2000 standard [15].

2.2. Feature extraction

Some models can also be used for automatic feature extraction algorithms. Standard feature extraction techniques include:

- ✓ Local binary patterns (LBP)
- ✓ Histogram of oriented gradients (HOG)

We used them as algorithm for comparing their results with our system's works, which will show later.

2.2.1. Local Binary Pattern

The local binary pattern working by getting the 3*3 surrounding values of the picture. After that we find the difference between them [16].

The comparing function $f(I(Z_0), I(Z_i))$:

Where $Z_i, i = 1, 2, \dots, 8$ is all the points which they are surrounding Z_0 from one to eight. In Figure 2 we can see how the LBP micro pattern when we put it to 0. Finally, the local binary pattern (LBP) method has shown an excellent result due to its straightforward strategy and simple feature extraction operation [16]. This show a good efficiency in face detection that result from its high correction of many things.

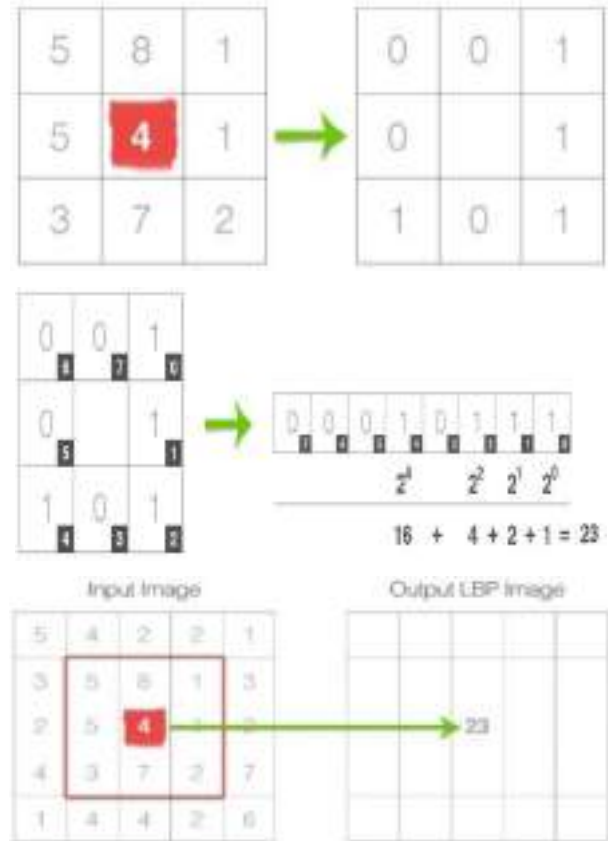


Figure 2. Local binary pattern working idea [16]

This thresholding process, accumulating binary strings and storing the output decimal value in the LBP array, is repeated for each pixel in the input image [17].

2.2.2 Histogram of Oriented Gradients (HOG)

A histogram of oriented gradients (HOG) is a feature extractor used in computer vision for object detection. The technique calculates histogram premises of the gradient's orientation on a dense grid, that is to say, uniformly distributed over the image areas. HOG method is proposed by Navneet Dalal and Bill Triggs [18].

2.3 Gray-Level Co-occurrence matrix (GLCM)

A statistical method of examining texture that considers pixels' spatial relationship is the gray-level co-occurrence matrix (GLCM). We can find texture properties from the matrix to represent the textures in the image when the GLCM is calculated in our work which it is summing how often pairs of the pixel with specific values and in a specified spatial relationship occur in an image which we used in our work equal 3. Texture is the repetition of a pattern on a region. These patterns can be of various characteristics, such as yellow, rough, smooth, random, or stripes. Texture properties are a kind of second-order statistics. The gray level is the difference between two different pixels in different locations. Other issues can be found by revealing tissue properties. Tissue characteristics can be found in a variety of ways, such as GLCM, first order slope distributions, and edge coherence matrices [19]. As in the following angles, 0°, 45°, 90° and 135° from the co-occurrence matrix is used.

$D = 3, \theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ and 135° constant is calculated. So there are four co-occurrence matrices 16×16 . By used function in MATLAB "graycomatrix (uint8 (LL1), 'Offset', [Type of Direction], 'N', 'N').".

According to GLCM in each computer, the successful co-occurrence matrix, which characterizes the statistical property's behavior, is obtained 12. These statistics provide information about the texture of an image. Their features: Maximum probability, Contrast, Entropy, Homogeneity, Dissimilarity, Average, correlations, Differences, Angular Second Moment, Energy, Variance, Mean [20].

2.4 Support Vector Machine

A support vector machine (SVM) classifier a differential formally separated by a hyper plane defined. In other words, according to the data of the tag (teaching supervision), the algorithm outputs an optimal hyperplane that by classifying new samples. It is in hyperplane sense that the desirable? An example of SVM is shown in figure 3 [21].

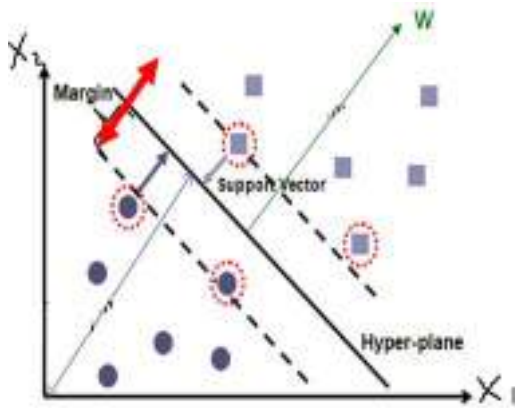


Figure 3. SVM for classification of data

The goal is to choose a hyperplane with the most significant possible margin between the hyperplane and any point within the training set, giving a greater chance of new data being classified correctly. In this paper, the different kernel functions are used for SVM. These kernels are linear, Quadric, Polynomial RBF, and MLP. The best result is getting for linear.

The kernel functions are used to map the original dataset, and all kernels are merely different in making the hyperplane decision boundary between the classes. A linear kernel that we used gives us good accuracy for one type because linear usually in less time than other kernels, and Quadric, Polynomial RBF (Radial Basis Function) and MLP (Multi Linear Percental) is giving for other classes. SVMs are based on the idea of finding a hyperplane that best divides a dataset into two classes. We used svmtrain for training of data and svmclassify for classification of data. svmtrain and svmclassify are the functions used in Matlab and these functions are used in the paper.

3. Results and Discussion

3.1. Summary of work

The flow chart of proposed method for Leukemia Cell recognition is shown in figure 4

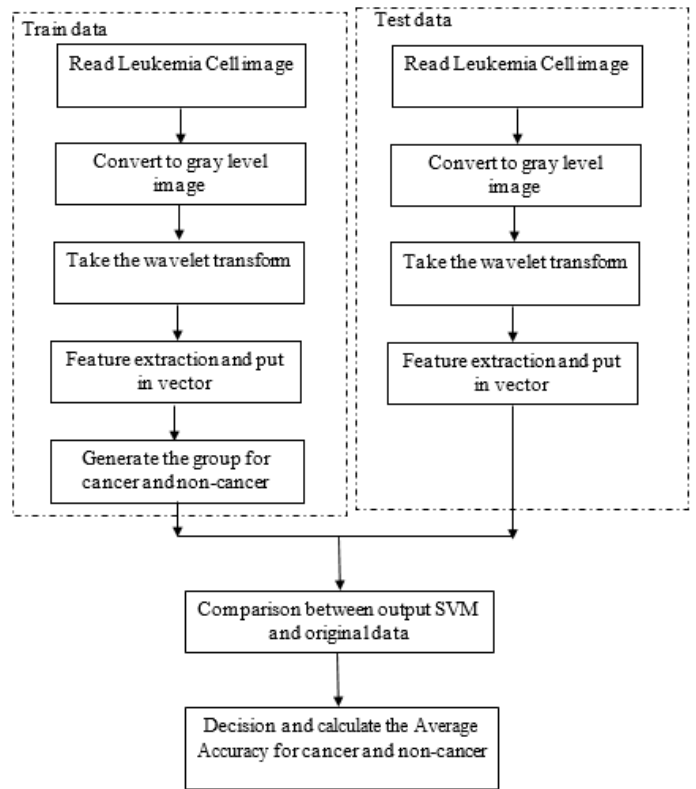


Figure 4. Flow chart of proposed method

In this paper, the ALL database is used. In the first step, the image is recalled and then the image is converted to a gray level image. Then the discrete-time wavelet transform is done on the image. After that, the Gray Level Co-occurrence matrix is done for the feature extraction. All these features are put on the matrix. For the train data and test data, all features will extract. After saving the feature the classification is done. For classification the SVM method based on the linear kernel function is used. Also other kernel functions are tested but the best scenario is got from linear model. Then the test data is calling and then compare with all train data.

3.2. Simulation result

After simulation the code the following result are got. The average accuracy of mistake prediction is shown in figure 5

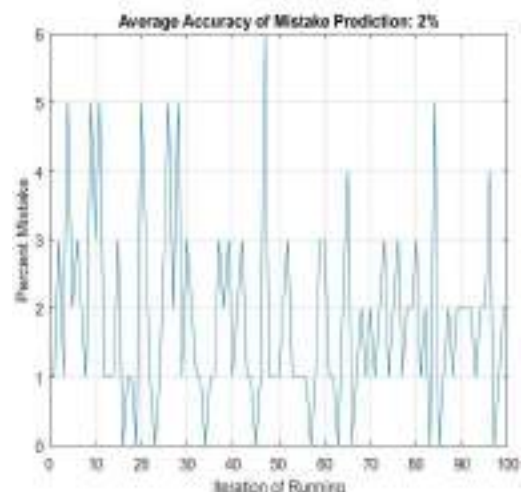


Figure 5. Average accuracy of mistake

The average accuracy of cancer prediction is 96.16% and this result is illustrated in figure 6.

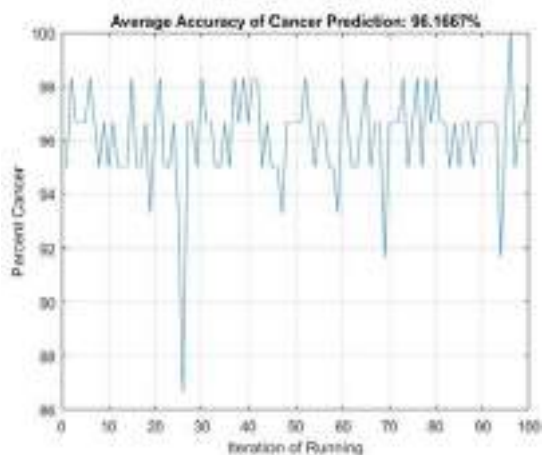


Figure 6. Average accuracy of cancer prediction

After the morphological preprocessing, the support vector machine (SVM) was used to construct the image processing algorithm, and the most effective one among the different iterations was selected. Of the iteration values read in Table 1 is the success rate we achieved when we first started.

The second is the state after the Wavelet Transformation is applied. After it is found by reducing and multiplying test and training data, where test data is reduced and training data increases, the result is changed. This iteration constitutes a total of 260 data nodes.

In our paper, we used 121 images for training and nine images for testing. Totally 18 images for testing and 242 images are selected to the training. With these results, it is observed that 99.1667 % of the network performance is achieved when the 10th address is called and the program is run.

The Average accuracy of non-cancer prediction is 99.88% and this result is shown in figure 7.

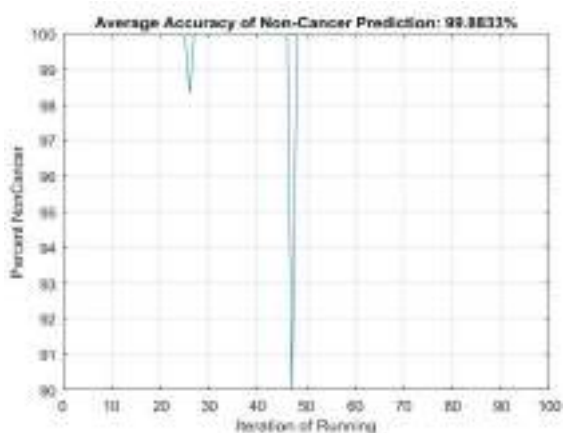


Figure 7. Average accuracy of non-cancer prediction

The percentage result for iteration of running is illustrated in figure 8.

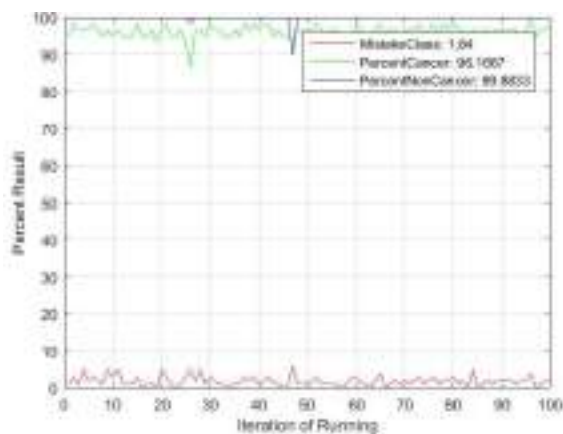


Figure 8. Percentage result for iteration of running

Table 1. Iteration Results

1	99.1667
2	98.3333
3	97.5000
4	96.6667
5	98.3333
6	97.5000
7	97.5000
8	96.6667
9	99.1667
10	98.3333

After running the algorithm with random data, the achieved rate is 99.1667 %. After these operations are performed 100 times in the algorithm randomly, the community average is calculated as 99.8833%. Early recognition for ALL disease is known to result in favorable outcome.

The result shows that this method successfully solves the problem of diagnosing acute lymphocyte leukemia cells with the help of SVM after morphological pretreatment.

The proposed method is compared with other methods. For comparison the Local Binary Pattern (LBP) and Histogram of Orientation (HOG) is selected. These methods is ready, we just wrote the code. After we implementing these models LBP and HOG in Matlab for database and running we got this results but our work was different scenario because it combines between feature extraction and wavelet transform and Gray-Level Co-occurrence matrix and we got the best result.

The result is illustrated in table 2. In HOG method the 88.12% percent is got for cancer data. For non-cancer data the 86.28% percentage is got. In LBP method the 89.73% percentage is got. For the non-cancer data, the 83.37% percentage is got.

In the proposed method the 96.16% percent is got for cancer data and the 99.88% is got for non-cancer data.

Table 2. Comparison of Result with LBP, HOG

Method	Cancer	Not cancer
HOG [22]	88.12	86.28
LBP [23]	89.73	83.37
Proposed method	96.16	99.88

4. Conclusions

We applied stander database (ALL) by using important functions in Matlab language for read image then converted it into gray level then use good filters by wavelet transform in the first level for provides detail coefficients at a different resolution for the image then specify the texture by done the Gray Level Co-occurrence matrix by (offset) function to create in the finally a new matric which it gave us on the best result by apply the functions in feature extraction to extract all features then decision cancer or not by using SVM method for classification based on the linear kernel function. By used all these functions in this paper we obtained the good results in diagnosis leukemia which represented in 96.1667% for cancer and 99.8833% for noncancer

References

- [1] R. Ahasan, A. U. Ratul, and A. Bakibillah, "White blood cells nucleus segmenta!on from microscopic images of strained peripheral blood /lm during leukemia and normal condi!on," in Informatics, Electronics and Vision (ICIEV), 2016 5th International Conference on, 2016: IEEE, pp. 361-366.
- [2] A. N. Aimi Salihah, N. Mustafa, and M. N. Nashrul Fazli, "Applica!on of thresholding technique in determining ra!o of blood cells for Leukemia detec!on," 2009.
- [3] R. W. Sche;er, "Managing the future: The Special Virus Leukemia Program and the accelera!on of biomedical research," Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, vol. 48, pp. 231-249, 2014.
- [4] C. J. Murray, A. D. Lopez, and W. H. Organization, "The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020: summary," 1996.
- [5] T. Reya, S. J. Morrison, M. F. Clarke, and I. L. Weissman, "Stem cells, cancer, and cancer stem cells," nature, vol. 414, p. 105, 2001.
- [6] S. Kumar, S. Mishra, and P. Asthana, "Automated Detection of Acute Leukemia Using K-mean Clustering Algorithm," in Advances in Computer and Computational Sciences, ed: Springer, 2018, pp. 655-670.
- [7] J. D. Lathia, S. C. Mack, E. E. Mulkearns-Hubert, C. L. Valentim, and J. N. Rich, "Cancer stem cells in glioblastoma," Genes & development, vol. 29, pp. 1203-1217, 2015.
- [8] K. Takahashi, B. Hu, F. Wang, Y. Yan, E. Kim, C. Vitale, et al., "Clinical implications of cancer gene mutations in patients with chronic lymphocytic leukemia treated with lenalidomide," Blood, vol. 131, pp. 1820-1832, 2018.
- [9] R. C. Gonzales and P. Wintz, "Digital image processing," Addison-Wesley 0201110261, 1987.
- [10] M. Song, "Wavelet image compression," Contemporary Mathematics, vol. 414, p. 41, 2006.
- [11] T. JAGRIč and R. Ovin, "Method of analyzing business cycles in a transition economy: The case of Slovenia," The Developing Economies, vol. 42, pp. 42-62, 2004.
- [12] P. Goupillaud, A. Grossmann, and J. Morlet, "Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis," Geoploration, vol. 23, pp. 85-102, 1984.
- [13] I. Daubechies, "The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis," IEEE transactions on information theory, vol. 36, pp. 961-1005, 1990.
- [14] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," IEEE Transactions on image processing, vol. 1, pp. 205-220, 1992.
- [15] G. Strang and T. Nguyen, Wavelets and filter banks: SIAM, 1996.
- [16] B. Zhang, Y. Gao, S. Zhao, and J. Liu, "Local derivative pattern versus local binary pattern: face recognition with high-order local pattern descriptor," IEEE transactions on image processing, vol. 19, pp. 533-544, 2010.
- [17] D. Huang, C. Shan, M. Ardabilian, Y. Wang, and L. Chen, "Local binary patterns and its application to facial image analysis: a survey," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 41, pp. 765-781, 2011.
- [18] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on, 2005, pp. 886-893.
- [19] A. Demirhan and İ. Güler, "Özörgütlemeli Harita Ağları Ve Gri Düzey Eş Oluşum Matrisleri Ile Görüntü Bölütleme," Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 25, 2010.
- [20] M. Yazdi and K. Gheysari, "A new approach for the fingerprint classification based on gray-level co-occurrence matrix," International Journal of Computer and Information Science and Engineering, vol. 2, pp. 171-174, 2008.
- [21] B. Thakker, "Support Vector Machin," 2011.
- [22] Y. Bai, L. Guo, L. Jin, and Q. Huang, "A novel feature extraction method using pyramid histogram of orientation gradients for smile recognition," in Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on, 2009, pp. 3305-3308.
- [23] V. Singhal and P. Singh, "Local binary pattern for automatic detection of acute lymphoblastic leukemia," in Communications (NCC), 2014 Twentieth National Conference on, 2014, pp. 1-5.



Taşınabilir Fotovoltaik (PV) Sistem Tasarımı

İbrahim Kırbaş^{1*}

^{1*} Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5560-638X), ikirbas@mehmetakif.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 26 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 3 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.928200)

ATIF/REFERENCE: Kırbaş, İ. (2021). Taşınabilir Fotovoltaik (PV) Sistem Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 675-679.

Öz

Enerji üretimi için kullanılan kaynakların yarattığı çevresel sorunların aşılmasında ön plana yenilenebilir enerji kaynakları çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir diğer avantajı da, üretilen enerjinin iletim ve dağıtımını gibi sorunlarını da ortadan kaldırmasıdır. Özellikle şebekenin ulaştırılmasında güçlük yaşanan bölgelerde bireysel kullanım için kurulan sistemler ile sorun çözüme ulaştırılmaktadır. Günümüzde bir evin elektrik ihtiyacını karşılamak için yapılmış paket sistemler bulunmaktadır. Fakat bu sistemler daha çok çatı üzerinde ya da arazide sabit konumda olan sistemlerdir. Bu çalışmada tasarlanan taşınabilir Fotovoltaik (PV) sistem ile hem bir evin elektrik ihtiyacı karşılanabilecek hem de yaylacılık, arıcılık, çadır kampı, tarımsal sulama gibi değişik amaçlı ve farklı bölgelerde enerji üretimi mümkün olacaktır. Sistem maliyeti hali hazırda olan paket sistemler ile yaklaşık hatta aynı maliyette olmasıyla bir dezavantaj oluşturmazken, taşınabilir olması ise en büyük avantajıdır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Güneş, PV sistem, Taşınabilir sistem.

Portable Photovoltaic (PV) System Design

Abstract

Renewable energy sources come to the forefront in overcoming the environmental problems caused by the sources used for energy production. Another advantage of renewable energy sources is that they eliminate the problems of transmission and distribution of the energy produced. Especially in regions where there is difficulty in the delivery of the network, the problem is solved with the systems established for individual use. Today, there are package systems designed to meet the electricity needs of a house. However, these systems are mostly fixed on the roof or in the field. With the portable Photovoltaic (PV) system designed in this study, it will be possible to meet the electricity need of a house and to generate energy for different purposes and in different regions such as transhumance, apiculture, tent camp, agricultural irrigation. The cost of the system does not create a disadvantage as it is approximately the same cost as the current package systems, and its portability is its biggest advantage.

Keywords: Renewable energy, Solar, PV system, Portable system.

* Corresponding Author: ikirbas@mehmetakif.edu.tr

1. Giriş

İnsanlık gelişen teknolojiye uyum sağlamak ve yaşamını sürdürmek için enerjiye ihtiyaç duyar. Bu ihtiyaç duyduğu enerjiyi içinde bulunduğu doğadan doğrudan olarak ya da dolaylı (türeterek) elde eder (Kırlı ve Kulu, 2016). Son zamanlara kadar kullanılan en önemli enerji kaynakları fosil kökenli olanlardı. 1970 yıllarda ve daha sonraki yıllarda fosil kökenli enerji kaynaklarının doğaya ve çevreye olan olumsuzlukları nedeniyle insanoğlu daha temiz ve çevre dostu enerji kaynaklarının arayışına başladı (Akyazı ve ark., 2019; Güner ve Muharremoğlu, 2020). Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik ve deniz kaynaklı enerji kaynaklarını yenilenebilir enerji kaynakları olarak kullanmaya başlandı. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak nitelendirilen her bir enerji kaynağının kullanılması için farklı teknolojilere ihtiyaç vardır. Güneş kolektörleri, fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri, buhar türbinleri, gelgit akış jeneratörü bunlardan en bilinenleridir. Ayrıca bu enerji kaynaklarının içinde en geniş kapsamlı çalışma alanı olan ve bitmeyecek büyüklükte olan güneştir. Yapılan araştırmalar güneşten gelen ışınımın 40 dk boyunca depolanması ile dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacının karşılanabileceğini bildirmektedir (Kılıç, 2015).

Ülkemizde güneş enerjisi genellikle kullanım sıcak suyu elde edilmesi ve ürün kurutmada etkin olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda bunlara ek olarak güneş enerjisinden elektrik üretimi dikkat çekmektedir. Yasal düzenlemeler yapılması, teşvikler verilmesi, şebekeye elektrik satılmasına olanak verilmesi gibi elektrik üretimi ile ilgili konularda oldukça önemli adımlar atılmıştır. Her geçen gün bu alanda yapılan yatırım miktarı artmakta ve yıllık elektrik üretiminde güneş enerjisi ile üretilen elektrik enerjisi oranı da artmaktadır. Tabii ki tüm bunlarda Türkiye'nin coğrafi konumunun da payı oldukça önemlidir.

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verileri bize gösteriyor ki Türkiye günlük toplam 7,5 saat, yıllık toplam 2.741 saat güneşlenme süresine sahiptir. Ayrıca günlük toplam 4,18 kWh/m², yıllık toplam 1.527 kWh/m² gelen güneş enerjisi değerlerine sahiptir (URL-1, 2021). Enerji Bakanlığının verilerinden de anlaşılacağı gibi Türkiye'nin ortalama güneşlenme süreleri oldukça yüksek bir değerdedir. Bölgesel olarak ise Güneydoğu Anadolu bölgesi birinci sırada yer alırken bunu ikinci sırada Akdeniz bölgesi üçüncü sırada Doğu Anadolu bölgesi takip etmektedir (Kırbaş ve ark., 2013).

Fotovoltaik (PV) paneller güneş enerjisinden elektrik üretimi için kullanılan aygıtlardır (Çifci ve ark., 2014). Fotovoltaik sistemler her türlü kapasiteye uygun olarak tasarlanabilir. Bir tek lambanın enerji ihtiyacını karşılayabildiği gibi güneş enerjisi santrali (GES) şeklinde bir bölgenin enerji ihtiyacını da karşılayabilir. PV panelleri ticari amaçlı da

kullanabilirsiniz, bireysel olarak ta kullanabilirsiniz. Bireysel sistemlerin amortisman süreci 7-8 yıldan fazla sürdüğü için kullanıcılar süreyi uzun bulmakta ve tercih etmemektedirler. Fakat şebekenin olmadığı, jeneratör için yakıt taşımının zahmetli olduğu bölgelerde amortisman süreci göz ardı edilerek tercih edilmektedir. Bu tür sistemler gerekli kapasite hesabı yapıldıktan sonra yeterli sayıda fotovoltaik panel, gece kullanımı için depolama amaçlı akü, DC gerilimi AC gerilime çevirmek için inverter ve şarj kontrol ünitelerinden oluşur (Akcan ve ark., 2020).

PV paneller ile elektrik üretimi için dış havanın sıcaklığı ve nemi oldukça önemli değişkenlerdir. Dış hava sıcaklığının fazla olması (Temmuz, Ağustos ayları gibi) verimi olumsuz yönde etkilemektedir. İdeal bir verim daha çok ışınım değerleri yüksek fakat düşük hava sıcaklığında (25 °C altında) ve %50 bağıl nemli zamanlarda (bahar aylarında) elde edilmektedir (Köse, 2018). Başay ve ark. (2019) yapmış oldukları çalışmalarında orta yükseklikte dağlık alanlarda kurulan panellerin ömrüne ışınım, sıcaklık ve nem gibi etkenlerin etkisini araştırmışlardır. Deniz seviyesinde kullanılan bir panel ile 835 m yüksekte kurulan bir paneli karşılaştırmışlar. Dağlık alanda yüksekte kurulan panellerin ömründe nem ve sıcaklık bakımından sırasıyla %5,8'lik ve %10'luk bir uzama olacağını tespit etmişlerdir (Başay ve ark., 2019). Yayıncılık ve arıcılık faaliyetlerinin yürütüldüğü yüksek kesimler uygun sıcaklık ve nem değerleri sağlamaktadır. Bunun anlamı da bu bölgelerde kullanılacak olan PV sistemlerinden yüksek verimle faydalanılacağıdır.

Bu çalışmada; şebeke geriliminin olmadığı ücra yerlerde özellikle yaylacılık, arıcılık ve tarımsal sulama alanlarında kullanılacak aynı zamanda ergonomik boyutlarda taşınabilir bir fotovoltaik sistem tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Tasarlanan bu sistem konut, yazlık, ağıl, ahır ya da çadır gibi yapılarda bulunacak minimum sayıdaki cihazların elektrik enerjisini karşılayabilecek kapasitededir. Çevresel sorunlar yaratmaması, montaj maliyeti ve bakım masraflarının olmaması sistemin diğer avantajları arasındadır.

2. Materyal ve Metot

PV sistemin kapasitesinin belirlenmesi için kullanılacak olan elektrikli aletlerin ne kadar enerji tükettiği ve günlük olarak ne kadar enerji ihtiyacı olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple bir yayla evinde ya da yazlık olarak tabir edilen bir yapıda olması gereken minimum elektrikli cihazların listesi ve elektrik tüketimi Tablo 1'de verilmiştir. Yük olarak kabul edilen yapının günlük ortalama elektrik tüketimi 0,528 kWh'dir. Bu elektrik tüketimi yaylacılık yapan, arıcılık yapan kişilerinde elektrik ihtiyacını rahatlıkla karşılayabilecek kapasitedir. Ayrıca tarımsal sulama için 0,7 hp gücüne kadar bir pompaya rahatlıkla enerji sağlayabilecek bir sistemdir.

Tablo 1. Elektrikli aletlerin enerji tüketimi (URL-2, 2021; URL-3, 2021; URL-4, 2021)

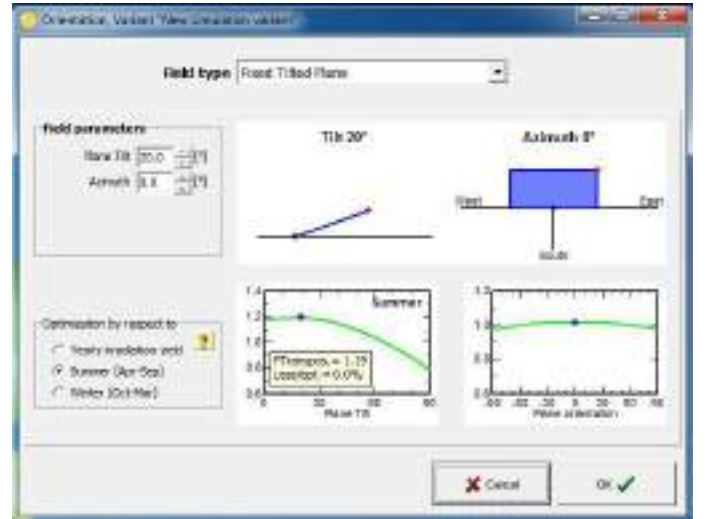
Cihaz	Güç (Watt)	Adet	Çalışma süresi (Saat)	Günlük Ortalama Enerji Tüketimi (Wh)	Günlük Ortalama Enerji Tüketimi (kWh)
Mini Buzdolabı (A+)	12,5	1	24	300	0,300
LED TV (A+) (55 cm)	25	1	4	100	0,100
Led Lamba	8	3	4	96	0,096
Telefon Şarjı	4	2	4	32	0,032
TOPLAM				528	0,528

Günlük ortalama elektrik ihtiyacı 0,528 kWh olarak belirlenmiştir. PV sistemde kullanılacak olan panel gücü, adedi ve büyüklüğü, akü grubu, inverter ve şarj kontrol ünitesi gibi bileşenlerin belirlenmesinde PVsyst isimli yazılımın 6.8.8 versiyonundan faydalanılmıştır. Sistem şebeke elektriğinin olmadığı bölgelerde çalıştırılacak olup Off-Grid diye tabir edilen kapalı sistem olarak çalışacaktır. Ayrıca gündüz sistemden üretilen elektrik enerjisinin bir kısmı akülerde depolanacaktır. Bu sayede gece, kapalı havalarda ve arka arkaya yağışlı geçen 2 gün boyunca kesintisiz elektrik sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

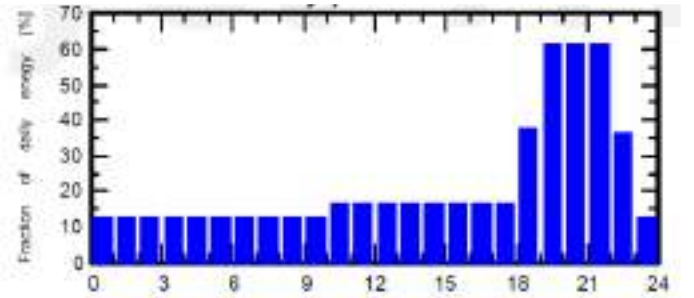
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. PV Sistem Bileşenlerinin Belirlenmesi

Sistem bileşenlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan PVsyst 6.8.8 isimli programda öncelikle bölge seçimi ve ışınım miktarlarının sisteme tanıtılması yapılmıştır. Işınım miktarlarının elle girilebileceği gibi bölge koordinatları girilerek Meteororm verilerinin kullanımı da mümkündür. Bu çalışmada arıcılığın ön planda olduğu Muğla ili ve yaylacılık faaliyetleri yapılan Toroslar'da belirlediğimiz iki bölge için ayrı ayrı tasarım yapılmıştır. Bölgelerin ışınım miktarları için Meteororm 7.2 (2004-2010) verileri kullanılmıştır. İkinci adım olarak günlük tüketiciler ile ilgili bilgilerin girişi yapılmıştır (Şekil 1). Bir sonraki adımda PV paneller için uygun açının (Tilt) belirlenmesi yapılmıştır. Meteororm verileri ve Muğla ilindeki belirlenen bölgenin koordinatları ile sistem tarafından yaz mevsimi için hesaplama yapılmış ve panel açısı 20° olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Günlük tüketim profili Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde tüketimin 19-23 saatleri arasında üst seviyelere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 2. Panel açısının hesaplanması



Şekil 3. Günlük tüketim profili

Günlük ortalama 0,528 kWh elektrik üretimi için PVsyst programında yapılan hesaplamalar sonucu belirlenen ana sistem elemanları Şekil 4'te görülmektedir. 2 adet 280 W'lık polikristal panel, 2 adet derin döngü jel akü, 1200 W gücünde bir inverter ve bir adet şarj kontrol cihazı gerektiği belirlenmiştir. Yapılan fiyat araştırması sonucunda, belirlenen taşınabilir PV sistem bileşenlerine ait özellik ve fiyat bilgileri Tablo 2'de verilmiştir.

PV saha yönlendirmesi	Eğim 20° Azimut 0°
PV panel modeli	AZ6-60-280MS/1000V 280Wp
PV panel sayısı	2 adet, Toplam 560Wp
Akü	Li-on, 13 V 100 Ah
Akü sayısı	2 adet, Toplam 13V/ 200 Ah
Kullanıcıların ihtiyacı	193 kWh/yıl

Şekil 4. Ana sistemin değişkenleri

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly detail	Daily energy
1	Lamp LED	8	1/0	1/0	8
2	TV (PC)	25	4/0	1/0	100
3	Washing machine	2	1/0	1/0	2
4	Refrigerator	200	24/0	1/0	4800
5	Washing machine	2	1/0	1/0	2
6	Mobile	4	4/0	1/0	16
7	Other load	0	1/0	1/0	0
8	Standby consumption	0	24/0	1/0	0
Total daily energy:					528 Wh/Day
Total monthly energy:					1584 kWh/month

Şekil 1. Günlük tüketicilerin harcamış oldukları elektrik enerjisi

Tablo 2. Taşınabilir PV sistemine ait bileşenlerin özellikleri ve fiyatları

	Özellikleri	Adet	Fiyat (TL)	Toplam Tutar (TL)
Polikristal Panel	280 W 1640x990x35 mm / 18 kg	2	660	1320
Jel Akü	100 Ah 328x172x220 mm / 2,9 kg	2	1300	2600
İnverter	1200W 265x200x97 mm / 2,2 kg	1	540	540
Şarj Kontrol Cihazı	30 A 187x99x 50mm / 0,37 kg	1	220	220
GENEL TOPLAM				4680

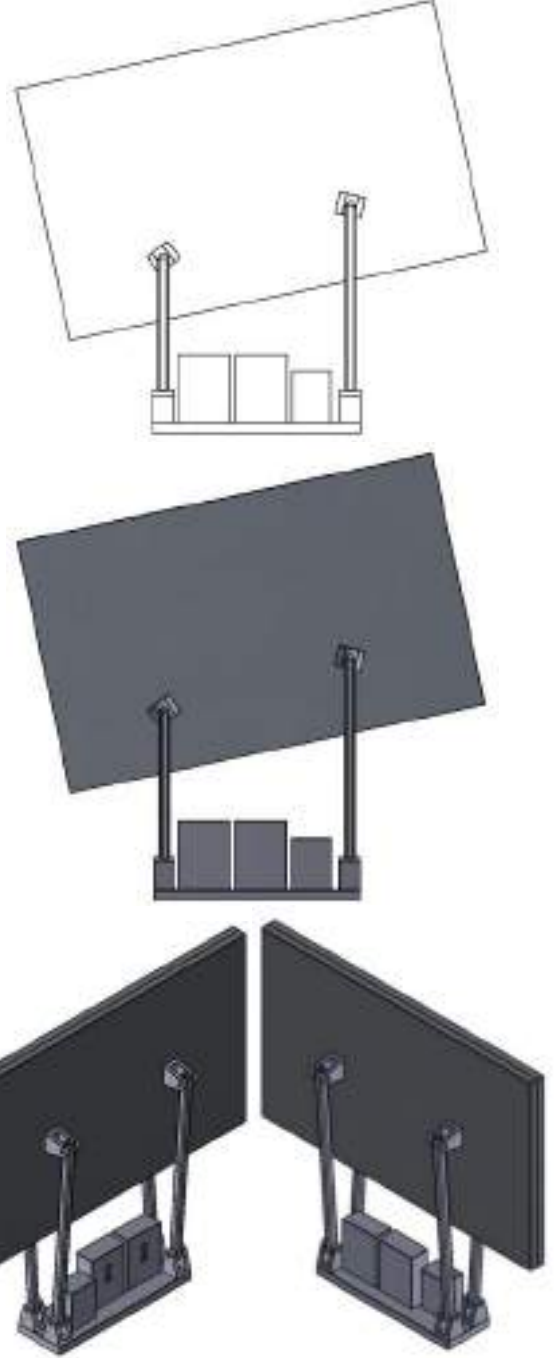
3.2. PV Sistemi Taşıyıcı Gövdenin Tasarımı

Sisteme ait bileşenlerin montaj resmi açık görünümü Şekil 5'te görülmektedir. Her bir panel alt kısmında mafsallı iki adet kol ile alt gövdeye bağlıdır. Mafsallar sayesinde panellerin konumu açık ve kapalı olmak üzere iki kademeli olarak ayarlanabilmektedir. Aynı zamanda panelleri taşıyan mafsallı ayakların uzunlukları sayesinde paneller 20° lik açı (Tilt 20°) ile konumlandırılabilir. Alt gövde üzerinde sabit konumda iki adet akü ve bir inverter bulunmaktadır.



Şekil 5. Sistemin açık görünümü (yan, ön ve üst görünüm)

Sistemin kapalı görünümü ise Şekil 6'da verilmiştir. Toplam ağırlık 44,37 kg sistem bileşenleri ve gövde profilleri ile birlikte 50 kg'dır. 2220 x 320 x 1660 mm boyutlarında 1,18 m³ hacminde bir taşıma sandığı ile rahatlıkla taşınabilmektedir.



Şekil 6. Sistemin kapalı görünümü

Tasarlanan taşınabilir PV sistemi maliyeti 4.680 TL sistem bileşenleri ve 300 TL taşıyıcı profil gövde olmak üzere 4.980 TL dir. Piyasada paket olarak satılan 0,5 kW'lık sistemlerin fiyatı da 5.000-6.000 TL aralığındadır. Genellikle 3 adet panel, iki adet akü, inverter ve şarj kontrol ünitesinden oluşmaktadır (URL-5, 2021). Kurulum yapılan yerde sabit olarak kalmaktadır. Kurulum için ekstra ücret ödemesi yapılmaktadır. Bu tasarlanan taşınabilir PV sistem ise herhangi bir kurulum ücreti gerektirmez, iki adet panel ile daha az parçadan oluşur ve ihtiyaç duyulan her yere götürülebilir.

Arıcılık yapan kişiler sürekli aynı alanlarda kalmayarak sende en az iki sefer yer değişikliği yaparlar. Muğla Arı Yetiştiricileri Birliği (MAYBİR), kayıtlı üye sayısının 1 milyonun üzerinde olduğunu ve Muğla ili her yıl ortalama 3

milyon üzerinde arıcıya ev sahipliği yaptığını açıklamıştır. Çam balı üretiminde ise Türkiye'nin %92 sini Dünya'nın ise %70'i oranında üretim yapıldığını bildirmişlerdir (URL-6, 2018). Öztürk (2017), Arıcılığın teknik özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapmış olduğu çalışmasında arıcılık yapan kişiler ile yüz yüze anket yöntemiyle yaptığı görüşmeler sonucunda, ankete katılan kişilerin Muğla ili sınırlarında ve dışında ortalama 100-400 kovan ile gezginci arıcılık faaliyetleri sürdürdüklerini tespit etmiştir. Muğla ili dışında yapılan yer değiştirmelerde ise öncelikli olarak Aydın, Afyon, Konya ve Isparta illerini tercih ettiklerini bildirmiştir (Öztürk, 2017). Böylesine önemli oranda bal üretim yapan ve bu üretimi gezginci arıcılık metoduyla yapan kişilerin enerji ihtiyacını karşılamak için taşınabilir PV sistem oldukça uygun görünmektedir.

Yaylacılık, yüksek bölgelerdeki geçici yerleşme şeklidir (Doğanay, 2010). Yaylacılık kültürünün yaşatıldığı bölgeler sıralamasında Doğu Karadeniz başta olmak üzere bunu Akdeniz, Ege ve İç Anadolu izlemektedir. İnsanlar değişik amaçlar için yaylalara göç ederler. Bazı bölgelerde hayvanlarının yiyecek ihtiyacını karşılamak için yüksek kesimlerdeki meralardan faydalanmak, hayvanlarını otlatmak ve hayvanların kışlık yiyeceklerini toplamak için yaylaya göç edilir. Bazı bölgelerde ise yaylacılık, doğa ile baş başa olma, sağlıklı yaşam ve serin bir yer arayışıdır (Daşcı ve Çomaklı, 2006). Çok uzun yıllardır bir yaşam şekli olarak süregelen yaylacılık uzun yıllarca da devam edecektir. Hangi amaçla olursa olsun yaylalara giden ve orda belirli bir dönem yaşayan insanların teknolojik ihtiyaçlarının karşılanması gerekir. Bir yayla evine sahip olabilirsiniz ya da bir kıl çadırda yaşayabilirsiniz. Aydınlanma, cep telefonu şarjı ve TV gibi aletlerin elektrik gereksinimleri taşınabilir PV sistem ile karşılanabilir.

Tarımsal ürünlerin suya ihtiyacı olduğu sıcak yaz günlerinde bol miktarda bulunan güneş enerjisinden elektrik üretmek ve bunu da tarımsal sulamada kullanmak oldukça mantıklı olacaktır. Tarımla uğraşan kişilerin tek bir yerde arazileri olmayıp farklı farklı yerlerdeki arazilerinde tarımla uğraşmaktadırlar. Her bir arazi için PV sistem satın almak yerine böylesi taşınabilir PV sistem ile hangi arazide çalışacaksa ihtiyacı olan elektrik enerjisini üretebilecektir. Üretmiş oldukları bu enerjiyi tarımsal sulama için pompaya güç sağlamada, cep telefonu şarj etmekte ve akşam saatlerinde aydınlanma gibi alanlarda kullanabileceklerdir.

Taşınabilir PV sistemin bir diğer avantajı da kullanılmadığı zamanlarda (özellikle kış aylarında) katlanıp kapalı bir yere taşınmak suretiyle olumsuz hava koşullarından etkilenmemesidir. Yayla alanlarında yüksek rakımlarda oluşan kar, yağmur, dolu gibi yağışlar sabit olan bir sistemde panel içinde istenmeyen mikro çatlaklar oluşturur ve don gibi olaylar panel malzemesinin iç yapısını bozar. Bu şekildeki hava olayları panelin verimin ve ömrünü azaltır. Taşınabilir PV sistemler ile buna benzer sorunlar çözüme ulaşır.

4. Sonuç

En ufak bir konutta olması gereken elektrikli aletler göz önüne alınarak belirlediğimiz sistem kapasitesine göre taşınabilir PV sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistem yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden elektrik üretmesi, çevreye olan CO₂ salınımının hiç olmaması gibi önemli özellikler taşımaktadır. Fakat en önemli özelliği ise şebeke elektriğinin olmadığı yerlerde elektrik ihtiyacını karşılamasıdır. Benzer kapasitedeki sistemlerden daha düşük maliyette, düşük hacimli

olması ve taşınabilir olması ile ön plana çıkmaktadır. Özellikle yaylacılık, arıcılık ve tarımsal sulama alanında uğraşan kişilerin elektrik ihtiyacını rahatlıkla karşılayabilecektir. Kapmçılık, karavan turizmi gibi diğer faaliyetler içinde kullanımı mümkündür.

Kaynakça

- Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M.R. (2020). Pvsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.
- Akyazı, Ö., Şahin, E. & Kahveci, D. C. (2019). Fotovoltaik Panel ve Şebeke Entegrasyonlu Akıllı Sokak Lambası Tasarımı ve Uygulaması. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 356-360.
- Başay, V., Eken, R., & Yılmaz, G. (2019). Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Güneş Enerjisi Santralinde Fotovoltaik Modüllerin Yaşlanmasının Araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 325-336
- Çifci, A., Kırbas, İ., & İşyarlar, B. (2014). Güneş Pili Kullanılarak Burdur'da Bir Evin Ortalama Elektrik İhtiyacının Karşıllanması, *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 14-17.
- Daşcı, M., & Çomaklı, B. (2006). Yaylacılık ve Tarımsal Açından Önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 275-280.
- Doğanay, S. (2010). İşlevsel değişim sürecinde Çakırgöl çevresinde yaylalar ve yaylacılık. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 7(2), 611-639.
- Güner, S. & Muharremoğlu, A. (2020). Bir Havalimanı Otoparkına Kurulabilecek Fotovoltaik Üretim Sisteminin Tasarımı ve Enerji Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 182-188.
- Kılıç, F.Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(71), 28-40.
- Kırbas, İ., Çifci, A., & İşyarlar, B. (2013). Burdur İli Güneşlenme Oranı ve Güneş Enerjisi Potansiyeli. *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 20-23.
- Köse, E. (2018). Fotovoltaik Sistemlerin Sıcaklığa Bağlı Enerji Verimliliği Performansının Analiz Edilmesi. *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi*, 2, 39-53.
- Öztürk, A.İ. (2017). Muğla İli Ula İlçesi Arıcılığının Bazı Teknik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Hayvansal Üretim*, 58(2), 52-57.
- URL-1 (2021). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Erişim tarihi: 03.02.2021)
- URL-2 (2021). Elektrikli aletlerin enerji tüketim. <https://encazip.com/evdeki-aletler-ne-kadar-elektrik-tuketir> (Erişim tarihi: 05.02.2021)
- URL-3 (2021). Elektrikli aletlerin enerji tüketimi. <https://www.enerjibes.com/elektrikli-aletler-kac-watt-harcar/> (Erişim tarihi: 05.02.2021)
- URL-4 (2021). Elektrikli aletlerin enerji tüketimi. <https://www.endamer.com/haber/elektrikli-ev-aletleri-ne-kadar-enerji-harcar> (Erişim tarihi: 05.02.2021)
- URL-5 (2021). Mini solar sistem. <https://mundasolar.com/urun/mini-solar-sistem-05kw-off-grid/> (Erişim tarihi: 09.02.2021)
- URL-6 (2018). Muğla Arı Yetiştiricileri Birliği (MAYBİR). <https://www.hurriyet.com.tr/aricilarin-konaklama-yerleri-belirleniyor-40883864> (Erişim tarihi: 11.02.2021)



Samsun Bölgesi için Güneş Radyasyonunun Yapay Sinir Ağı ile Tahmini

Sema Arıman^{1*}, Gaye Yeşim Taflan², Esra Çelik³

^{1*}Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7201-9243),
sema.ariman@samsun.edu.tr

²Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Bakım ve Onarım Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3022-8551),
gaye.taflan@samsun.edu.tr

³Muş Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü, Muş, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4819-1945), esracelik@mgm.gov.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866139)

ATIF/REFERENCE: Arıman, S., Taflan, G. Y. & Çelik, E. (2021). Samsun Bölgesi için Güneş Radyasyonunun Yapay Sinir Ağı İle Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (25), 680-687.

Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerji sistemlerinin tasarımında güneş radyasyonunu tahmin etmek oldukça önemlidir. Güneş enerjisi, global güneş radyasyonuna bağlıdır. Güneş radyasyonunun Yapay Sinir ağı modeli (YSA) ile tahmin edilmesinde girdi değişkeni olarak, hava sıcaklığı, güneşlenme süresi, buhar basıncı, bulutluluk gibi çeşitli meteorolojik değişkenler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Samsun bölgesi için Mart 2017-Şubat 2019 tarihleri arasındaki günlük güneş radyasyonu YSA yöntemi ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA yönteminde farklı giriş değişkenleri için Levenberg-Marquardt eğitim algoritması, logaritmik sigmoid ve doğrusal transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Model performansı en yüksek 9 girişli meteorolojik veriler (ortalama sıcaklık, ortalama nispi nem, ortalama rüzgar hızı, ortalama buhar basıncı, ortalama bulutluluk oranı, güneşlenme süresi, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, 5 cm'de toprak sıcaklığı) ile elde edilmiştir. Test verileri için R değeri 0.9603, MSE değeri 0.3516 olarak bulunmuştur. İleri beslemeli YSA modeli yaklaşımının diğer meteorolojik değişkenler ile birlikte güneş radyasyonunu tahmin etmek için yüksek bir performans sağladığı görülmüştür. Ayrıca, YSA'ya güneşlenme süresi giriş olarak verildiğinde, R değeri 0.9032 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş radyasyonu, Meteorolojik değişkenler, İleri beslemeli yapay sinir ağı, Levenberg-Marquardt

Prediction of Solar Radiation with Artificial Neural Network for Samsun Region

Abstract

It is very important to predict solar radiation in the design of solar energy systems from renewable energy sources. Solar energy depends on global solar radiation. Various meteorological variables such as air temperature, sunshine duration, vapor pressure, cloudiness are used as input variables in estimating solar radiation with Artificial Neural Network Model (ANN). In this study, ANN was used to predict the daily solar radiation values of Samsun region between March 2017 and February 2019. Levenberg-Marquardt training algorithm, logarithmic sigmoid and linear transfer function were used for different input parameters in ANN method. The best model performance was obtained with 9-input meteorological data (average temperature, average wind speed, average vapor pressure, average cloudiness rate, sunshine duration, maximum temperature, minimum temperature, soil temperature at 5 cm). The correlation coefficient (R) for the test data was 0.9603 and the mean square error (MSE) was 0.3516. It has been observed that the feed forward ANN model provides a high performance for predicting solar radiation along with other meteorological parameters. In addition, when the sunshine duration was given as input to the ANN, R value was obtained as 0.9032.

Keywords: Solar radiation, Meteorological variables, Feed-Forward neural network, Levenberg-Marquardt

* Sorumlu Yazar: Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7201-9243, sema.ariman@samsun.edu.tr

1. Giriş

Enerji, insanların ihtiyaçlarını karşılamak için kaynakların işlenmesinde her zaman önemli bir rol oynamıştır. Küresel toplam enerji tüketimi, toplumun tüketim eğilimlerinin yükselmesiyle birlikte hızla artmaktadır. Ekonomiler daha fazla sanayileşmeye bağlı olarak büyümektedir. Dünyanın enerji tüketimi son 40 yılda ikiye katlanmıştır. Sektörler, 2016'da 9,6 Gt olan toplam nihai enerji tüketiminin% 37'sini tüketmiştir (IEA, 2018a). Mevcut enerji sistemleri genellikle yenilenemeyen, dünya çapında dağıtılan ve teslimatı kritik olarak sürdürülemez olan fosil yakıtların yanmasına dayanmaktadır (Koçak ve ark., 2020). Dünyanın geleceğini tehdit eden küresel ısınmaya neden olan karbon emisyonlarının çoğu fosil yakıtların yakılmasıyla üretilmektedir. Yakıtların yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonları 2016 yılında 32,3 Gt'dir. Bu CO₂ emisyonlarının % 19'undan sanayi sektörü sorumludur (IEA, 2018a, 2018b). 130 ülkenin katılımıyla imzalanan Paris anlaşmasına göre, yüksek seviyelerde CO₂ emisyonları küresel ısınmanın ise ana nedenidir (Gibb ve ark., 2018).

Enerji üretimi, sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmından sorumludur ve Küresel İklim Değişikliği'nin önde gelen nedeni ise antropojenik etkilerdir (Oreskes, 2004; IPCC 2007). Bu nedenle, sera gazı emisyonlarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç bulunmaktadır (Lee ve Choi, 2019). Sera gazı emisyonlarının azaltılması yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyanın her yerinde kullanılmasıyla olur. Yenilenebilir enerjinin dünya enerji arzındaki payı sürekli artmakla birlikte yalnızca % 4,2 civarındadır (Koçak ve ark., 2020).

Güneş enerjisi potansiyeli, doğal enerji kaynakları arasında en büyüğüdür. Güneş enerjisi, güneşin yaydığı termal radyasyondan elde edilir. Güneş enerjisi, yılda yaklaşık 1575-49.837 EJ üreten bol bir kaynaktır (Alva ve ark., 2018). Dünyadaki diğer yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıtlar da dahil olmak üzere diğer tüm enerji kaynaklarının nihai kaynağıdır. Dünyaya düşen güneş enerjisi, toplam küresel enerji arzının 13.800 Mtoe'den çok daha fazladır. Güneş, CO₂ emisyonlarını azaltan enerji açısından verimli çözümler sağlayacak sınırsız ve temiz bir kaynaktır (Atkins ve ark., 2010). Birleşmiş Milletler'in Çevre Programı (UNEP) 2015 raporuna göre, konuma bağlı olarak 1,4 MWth (2000 m²) güneş enerjisi sisteminin her biri yaklaşık 175 metrik ton CO₂ emisyonu tasarrufu sağlayabilir (UNEP 2015). Yeryüzünün x-ışınları, UV-ışınları, kızılötesi ışınlar şeklinde aldığı Güneş Radyasyonu verileri, yeryüzünde güneşten alınan enerji miktarı hakkında bilgi verdiği için önemli ve faydalı bir veridir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji talepleri her geçen gün hızla artarken, bu yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynağının tahmin ve öngörme ihtiyacını da artırmaktadır.

Yapay Sinir Ağı (YSA), insan beyninin performansına benzer bir şekilde öğrenen ve performans gösteren, beyinden ilham alan yapay zeka tekniklerinin bir alt kümesidir (Strobl ve Forte 2007; Amanollah ve ark., 2017; Oğuz ve Pekin, 2019; Özcan ve Köprü, 2020). YSA'daki farklı nöronlar arasındaki ara bağlantı modeline ağ mimarisi denir. Çok katmanlı algılayıcı (MLP) ağı, YSA'nın en yaygın ve pratik mimarilerinden biridir. MLP'de, her nöron, farklı nöron girdilerinin diğer nöronlara olan göreceli etkisini temsil eden değişen ağırlıklarla, komşularına bağlıdır (Moghadassi ve

ark., 2009) Girişlerin ağırlıklı toplamı, bir aktivasyon fonksiyonu kullanılarak gizli nöronlara iletilir. Gizli nöronların çıktıları, başka bir dönüşüme uğradığı çıkış nöronuna girer (Heidari ve ark., 2016). YSA'nın öğrenme, genelleme, hataları tolere etme gibi yeteneklerinden dolayı lineer olan ve lineer olmayan sistemlerin modellenmesinde oldukça geniş uygulama alanları mevcuttur (Atik ve Deniz, 2007). Şahan ve Okur (2016) çalışmasında Akdeniz Bölgesinden seçilen on dört yerleşkede aylık ortalama toplam güneş ışınım şiddetini tahmin etmek amacıyla YSA modeli kullanılmıştır. YSA modelinde 1993-2010 yılları arasındaki meteorolojik ve coğrafik verileri (aylık ortalama güneş radyasyonu, ortalama hava sıcaklığı, minimum toprak üstü sıcaklığı, 5cm'deki toprak sıcaklığı, bağıl nem, bulutluluk, hava basıncı, güneşlenme süresi, istasyon, ay, enlem, boylam ve yükseklik) kullanılmıştır. Model performans kriterleri; R² 0.94, MSE 1.072'dir. Sonuçlar, tahmin edilen ve ölçülen toplam güneş ışınım şiddetinin değerlerinin oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Kumar ve ark., (2013) Kuzey Hindistan'ın belirlenen bölgelerdeki tepelik alanların sadece enlem ve boylamlarını göz önünde bulundurarak dört farklı istasyon verisi kullanılarak aylık ortalama toplam güneş radyasyonu (ışınım) verileri kullanılarak sinir ağı uyumlu araçlarla analiz etmişlerdir. Sinir ağı modelinde 10 nöron kullanmışlardır. YSA modelinde, determinasyon katsayısını R² 0.99 elde etmişlerdir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerji sistemlerinin tasarımında güneş radyasyonunu tahmin etmek oldukça önemlidir. Güneş enerjisi, global güneş radyasyonuna bağlıdır. Güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, güneşlenme süresi, bağıl nem, bulutluluk gibi çeşitli meteorolojik değişkenler ile Yapay Sinir ağı modeli ile tahmin edilebilmektedir. Böylece, sinir ağlarının güneş radyasyonu miktarını tahmin etme kapasitesi değerlendirilir ve en az hatayı elde etmek için ağ mimarileri geliştirilir (Behrang ve ark., 2010; Azadeh ve ark., 2009; Bojanowski ve ark., 2013; Bayat ve Mirlatif, 2009). Bu çalışmada Samsun bölgesi için güneş radyasyonu, ileri beslemeli yapay sinir ağı yöntemi (MLP) ile tahmin edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

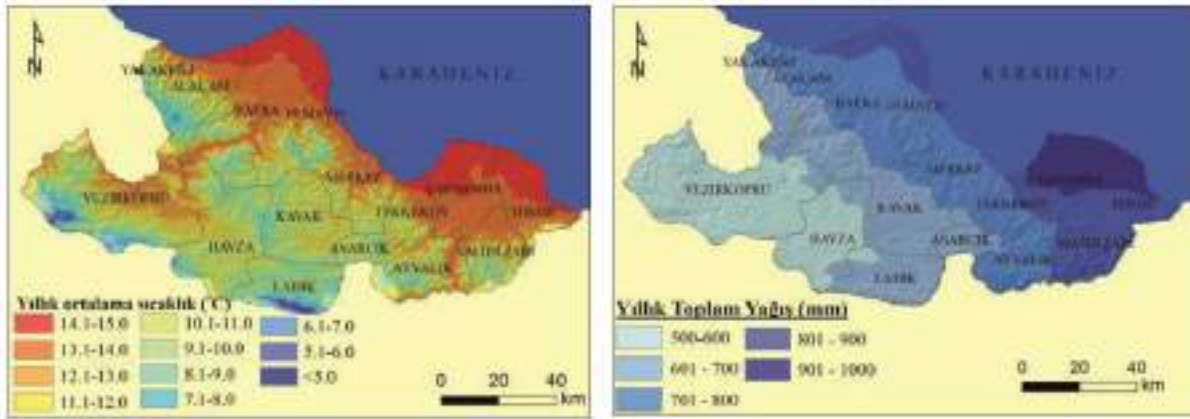
2.1. Çalışma Alanı

Samsun ili; Karadeniz sahil şeridinde Yeşilirmak ve Kızılırmak nehirlerinin Karadeniz'e döküldükleri deltalar arasında yer almaktadır (Şekil 1) ve 9579 km²'lik yüz ölçümüne sahiptir. Coğrafi konum olarak, 40° 50' - 41° 51' kuzey enlemi ile 37° 08' ve 34° 25' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Dengiz ve Sarıoğlu, 2011). Dağlık alanlar, dağlık alanlar üzerinde gelişmiş aşınım yüzeyleri, dağlık alanlar arasındaki depresyonlar ile delta ovaları Samsun ili yeryüzü şekillerinin ana unsurlarını oluştururlar.

Genellikle ılıman bir özelliğe sahip olan Samsun iklimi sahil şeridi ve iç kesimlerde ayrı özellik gösterir. Sahil şeridinde; yazların sıcak, kışların ılık ve yağışlı geçtiği Karadeniz ikliminin özellikleri görülür. Yıllık ortalama sıcaklık sahil kesimlerde alanı bulunan Bafra, Çarşamba, Terme ve Tekkeköy ilçelerinde 14-15°C arasında iken; Havza, Lâdik ve Vezirköprü ilçelerinin yüksek dağ kesimlerinde 5°C düzeylerine kadar indiğinden iç kesimler Akdağ ve Canik Dağları'nın etkisinde kalır. Bu sebeple kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazları ise serin geçmektedir. Samsun'un doğu kıyısında yer alan Çarşamba, Terme ve Tekkeköy ilçesinin bir kısmı 900-1000 mm yağış alırken, batı sahillerinde yer alan Bafra ilçesi 800 ile 900 mm arasında, orta

kesimlerde ise 700 mm civarında ortalama yağış almaktadır. Kuzey kesimlerde yer alan Vezirköprü ve Havza ilçeleri özellikle

Canik Dağları'nın etkisiyle yağış miktarının 500-600 mm'ye kadar azaldığı görülmektedir (Turan ve ark., 2018).



Şekil 1. Samsun iline ait sıcaklık ve yağış dağılım haritaları (Turan ve ark., 2018)

2.2. Verilerin Toplanması

Samsun ilinin günlük güneş radyasyon değerinin tahmin edilmesi için YSA yöntemi kullanılmıştır. Güneş radyasyonunun YSA modeli kullanılarak tahmin edilmesi için Mart 2017– Şubat 2019 tarihleri arasında, iki farklı istasyona (Tablo 1) ait günlük meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu meteorolojik veriler; günlük ortalama sıcaklık (°C), günlük ortalama nispi nem(%), günlük ortalama rüzgar hızı (m/s), günlük ortalama buhar basıncı (hPa), günlük ortalama bulutluluk oranı, güneşlenme süresi

(saat), günlük maksimum sıcaklık (°C), günlük minimum sıcaklık (°C), 5 cm'de toprak sıcaklığı (°C), günlük toplam küresel güneş radyasyonu (kWsaat/m²) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Güneş radyasyonunu tahmin etmek için meteorolojik veriler yapay sinir ağında eğitim, doğrulama (validasyon) ve test için sırasıyla %70, %15 ve %15 oranında rasgele olarak ayrılmıştır. Verilerin rasgele ayrıştırılmasından önce, meteorolojik verilerin herhangi birinin eksik olduğu güne ait veriler çıkarılarak ağın tahminleme işleminde kullanılmamıştır.

Tablo 1. Meteorolojik istasyonların konum ve özellikleri

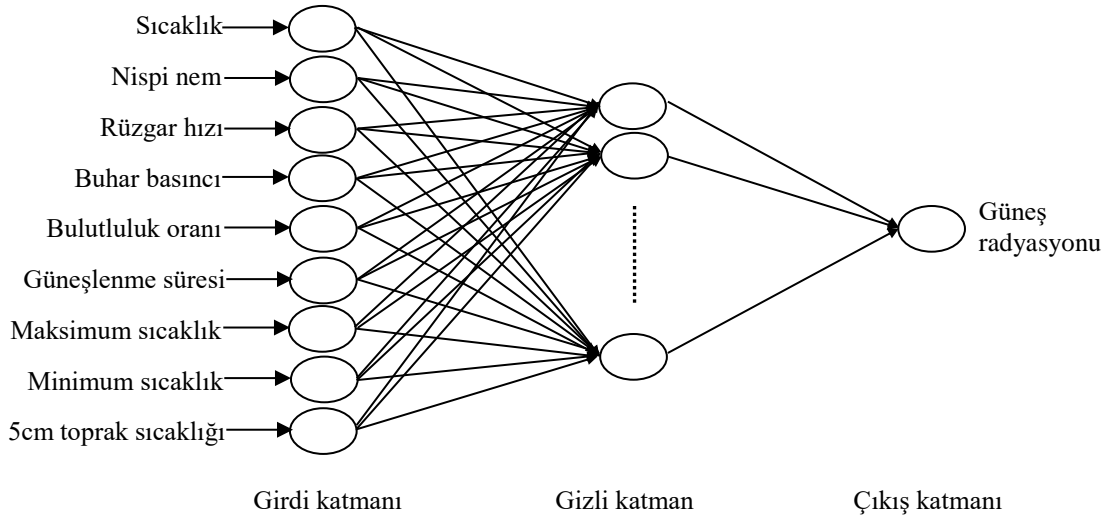
İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Bafra Toprak Su Araştırma	18133	41,6017	35,9189	15
Tekkeköy Karadeniz Tagem	18132	41,2303	36,4986	6

2.3. Yapay Sinir Ağı Yöntemi

YSA modeli; girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Girdi katmanı, ağa giriş olarak değişkenlerin verildiği katmandır ve girdi katmanındaki nöron sayısı kullanılan değişken sayısına eşittir. Gizli katman, girdi katmanı ile çıktı katmanı arasında yer alır. Gizli katman sayısı uygulamaya göre değişmektedir. Çıktı katmanı, ağın üretmesi istenen çıkış değerlerinin elde edildiği katmandır ve çıktı katmanındaki nöron sayısı, ağın üretmesi istenen değişkenin/değişkenlerin sayısına eşittir. Bu yapının oluşturulmasında kullanılan ilke, verilerin ağırlıklarla çarpılıp transfer fonksiyonunun ve ardından aktivasyon fonksiyonunun uygulanmasıdır. Uygulamada farklı transfer fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu çalışmada toplama fonksiyonu kullanılarak, yapay sinir ağı modellenmesi ile Samsun bölgesindeki güneş radyasyonu değerleri tahmin edilmiş, modelin tahmin tutarlılığı araştırılmıştır. Model girişi için farklı meteorolojik değişken kombinasyonları oluşturularak güneş radyasyonunun en doğru şekilde tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2.3.1. Yapay Sinir Ağı Mimarisi

Bu çalışmada, YSA modelinin Girdi katmanına giriş olarak günlük meteorolojik veriler verilmiştir. Bunlar; ortalama sıcaklık (S), ortalama nispi nem (NN), ortalama rüzgar hızı (RH), ortalama buhar basıncı (BB), ortalama bulutluluk oranı (BO), güneşlenme süresi (GS), maksimum sıcaklık (EYS), minimum sıcaklık (EDS), 5 cm'de toprak sıcaklığıdır (TS). Girdi katmanından gelen 9 farklı meteorolojik değişken, daha sonra gizli katmana gönderilmiştir (Şekil 2). Çıktı katmanında ise toplam küresel güneş radyasyonu (GR) tahmin edilmiştir. Güneş radyasyonunun belirlenmesinde, öncelikle tüm veriler 0-1 aralığında normalize edilmiştir, Belirlenen giriş değişkenlerine göre, ileri beslemeli YSA yöntemi uygulanmış ve denormalizasyon yapılarak güneş radyasyonu değerleri tahmin edilmiştir. Yöntemin uygulanmasında veriler rasgele olarak %70, %15 ve %15 olacak biçimde eğitim, doğrulama ve test olarak ayrılmıştır.



Şekil 2. Güneş Radyasyonu Tahmini için Yapay Sinir Ağı Mimarisi

Eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak gizli katmanda logaritmik sigmoid (logsig) transfer fonksiyonu, çıktı katmanında ise doğrusal (purelin) transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Aynı eğitim, doğrulama ve test verileri için Nöron sayıları 1-20 aralığında değiştirilerek yöntemin başarımı incelenmiştir.

Bu çalışmada, farklı girdi kombinasyonları oluşturularak en az meteorolojik değişken(ler) ile en iyi güneş radyasyonu tahmini edebilecek değişkenler belirlenmeye çalışılmıştır. Kombinasyonların nasıl yapılacağına karar verebilmek için meteorolojik değişkenlerin güneşlenme radyasyonu ile korelasyonlarına bakılmıştır. Bu sonuçlara göre günlük güneşlenme süresi en büyük ($R=0.874$), nispi nem ($R=0.0501$) en küçük mutlak korelasyon değerine sahiptir.

YSA model yaklaşımında Güneş radyasyonun, diğer meteorolojik değişkenlerle korelasyonu belirlenmiş ve buna göre en düşük korelasyona sahip nispi nem değişkeni çıkarılmaya başlanarak değişken sayısı azaltılmaya çalışılmıştır (Tablo 2). YSA modelinde eğitim, doğrulama ve test için giriş değişkeni; ortalama sıcaklık (S), ortalama nispi nem (NN), ortalama rüzgar hızı (RH), ortalama buhar basıncı (BB), ortalama bulutluluk oranı (BO), güneşlenme süresi (GS), maksimum sıcaklık (EYS), minimum sıcaklık (EDS), 5 cm'de toprak sıcaklığı (TS) kullanılmış ve modelin performans kriterleri değeri, MSE değerleri belirlenmiştir.

2.3.2. YSA Modelinin İstatistiksel Performans Kriterleri

Tüm modellerin sonuçları ortalama karesel hata (MSE) ve korelasyon katsayısı (R) metriklerine göre karşılaştırılmıştır. MSE ve R performans ölçütleri Denklem 1 ve 2 de verilmiştir. Burada x ve y sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen güneş radyasyonunu, \bar{x} ve \bar{y} ise bu değerlerin ortalamalarını göstermektedir. Bunlar, farklı YSA modellerinden elde edilen değerleri analiz etmek ve sonuçlar ile gözlemlenen değerleri karşılaştırmak için kullanılır (Changa ve ark., 2009; Amanollahi ve ark., 2017; Zhang, ve ark., 2020; Naderloo, L., 2020). Eğitim sırasında, YSA değişkenlerin uygun değerlerini bulmak için,

genellikle ağ tahmininin MSE performans metriği her yinelemede en aza indirilmelidir.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum (x - y)^2 \quad (1)$$

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

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. YSA Yönteminin Performansının Değerlendirilmesi

Güneş radyasyonunu tahmin etmek için İleri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır. Rasgele olarak ayrıştırılmış olan veriler içinden, eğitim verileri ağa sunularak ağın öğrenme işlemi gerçekleştirilmiş eğitim, doğrulama ve test verilerinin korelasyon katsayıları ve ortalama karesel hata değerleri hesaplanmıştır. Nöron sayıları 1 ile 20 aralığında değiştirilerek bu işlem tekrar edilmiş ve en yüksek korelasyon katsayısına sahip test verileri oluşturulmuştur (Tablo 3). En iyi sonuç S, NN, RH, BB, BO, GS, EYS, EDS, TS ile elde edilen 9 girişli ağ için elde edilmiştir. Burada eğitim, doğrulama ve test için R değerleri sırasıyla 0.9742, 0.9697 ve 0.9603 olarak hesaplanmıştır. Aynı giriş değişkenleri için hata değeri ise, eğitim, doğrulama ve test için 0.2113, 0.2366 ve 0.3516 olarak hesaplanmıştır. Tüm veri için değerlendirildiğinde $R=0.9712$, $MSE=0.2362$ elde edilmiştir. Denormalize yapıldıktan sonra ağın ürettiği değerlerin yer aldığı saçılma diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. YSA'ya sadece güneşlenme süresi giriş olarak verildiğinde eğitim, doğrulama ve test için R değerleri sırasıyla 0.8813, 0.887 ve 0.9032 olarak hesaplanmıştır. Tüm veriler için hesaplanan R ve MSE değerleri $R=0.8854$, $MSE=0.9044$ ' tür.

Tablo 2. Meteorolojik değişkenlerin korelasyon analizi

	S	NN	RH	BB	BO	GS	EYS	EDS	TS	GR
S	1									
NN	-0.0234	1								
RH	-0.1683	-0.3141	1							
BB	0.9358	0.2732	-0.2129	1						
BO	-0.1673	0.1716	-0.0114	-0.0901	1					
GS	0.3363	-0.0823	-0.0311	0.2836	-0.7287	1				
EYS	0.9365	-0.0629	-0.2192	0.8412	-0.3514	0.4716	1			
EDS	0.9553	0.0526	-0.1231	0.9337	0.0389	0.1607	0.8114	1		
TS	0.9543	0.0985	-0.2181	0.9445	-0.1828	0.4199	0.8815	0.9208	1	
GR	0.536	0.0501	-0.0819	0.516	-0.5421	0.874	0.5983	0.4085	0.6568	1

Tablo 3. Giriş parametrelerinin değişimine bağlı YSA model performansı

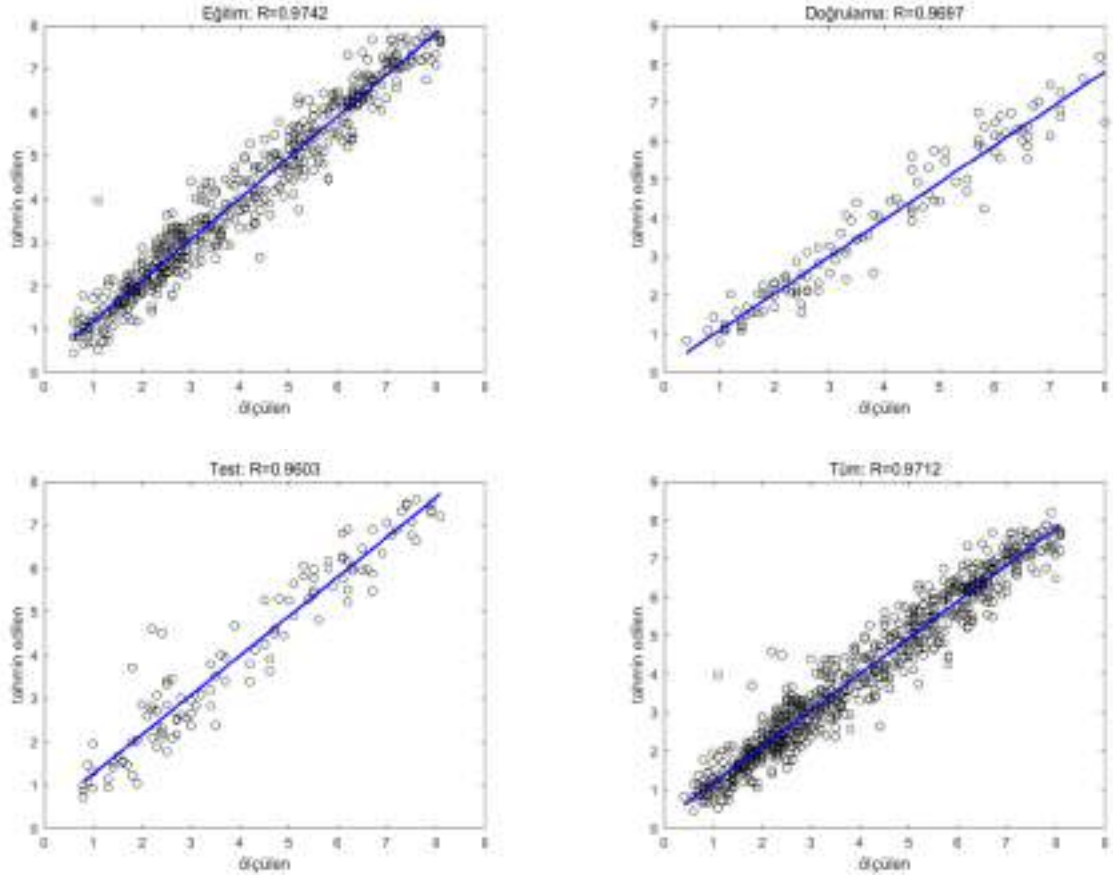
Giriş Değişkenleri	R (eğitim)	R (doğrulama)	R (test)	MSE (eğitim)	MSE (doğrulama)	MSE (test)
S,NN,RH,BB,BO,GS,EYS,EDS,TS,GR(t-1)*	0.9855	0.9743	0.9625	0.119	0.2091	0.3331
S,NN,RH,BB,BO,GS,EYS,EDS,TS	0.9742	0.9697	0.9603	0.2113	0.2366	0.3516
S,RH,BB,BO,GS,EYS,EDS,TS	0.9758	0.967	0.9581	0.1983	0.2649	0.3703
S,BB,BO,GS,EYS,EDS,TS	0.9696	0.9673	0.9594	0.2512	0.2527	0.3585
S,BB,BO,GS,EYS,TS	0.9651	0.963	0.9588	0.2837	0.2881	0.364
S,BO,GS,EYS,TS	0.9695	0.9665	0.958	0.2487	0.2598	0.3702
BO,GS,EYS,TS	0.961	0.955	0.9454	0.3167	0.3497	0.4791
GS,EYS,TS	0.9631	0.9579	0.9437	0.3007	0.3232	0.4934
GS,TS	0.9478	0.9405	0.9348	0.4208	0.4556	0.5739
GS	0.8813	0.887	0.9032	0.9263	0.8529	0.8539

*GR(t -1) zamanındaki güneş radyasyonu verisi YSA giriş verisi olarak dahil edilmiştir

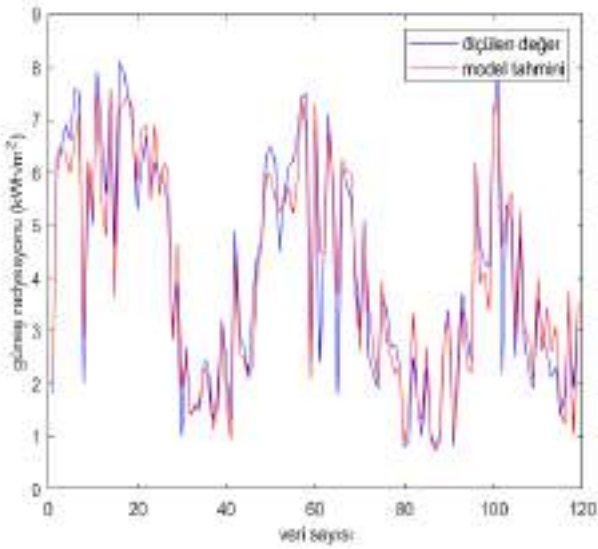
Test verileri için ölçülen ve tahmin edilen güneş radyasyonu verilerinin rastgele seçilmiş olan günlere göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Güneşlenme radyasyonu için YSA model tahmini ve ölçülen değerlerinin birbirine yakın ve paternlerinin ise benzer olduğu görülmektedir.

Güneş radyasyonu tahmininde modelin başarımını incelemek için bir gün önceki güneşlenme radyasyonu (GR(t-1)) değişkeni de YSA ağına giriş olarak eklenerek (10 girişli: S, NN, RH, BB, BO, GS, EYS, EDS, TS, GR(t-1)) t anındaki güneşlenme radyasyonu tahmin edilmiştir. Bu model için kullanılan eğitim algoritması, aktivasyon fonksiyonları değiştirilmemiştir. Nöron sayıları 1-20 aralığında değiştirilmiştir. Eğitim, doğrulama ve test

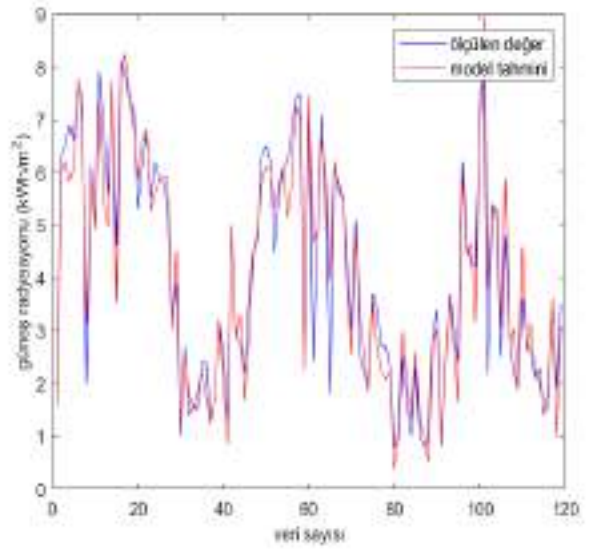
verileri için korelasyon katsayıları sırasıyla 0.9855, 0.9743 ve 0.9625 olarak elde edilmiştir (Tablo 3). Aynı giriş değişkenleri için MSE değerleri, sırasıyla eğitim, doğrulama ve test için 0.119, 0.2091 ve 0.3313 olarak hesaplanmıştır. Test verileri için ölçülen ve edilen güneş radyasyonu verilerinin (t zamanı için) rastgele seçilmiş olan günlere göre değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Bu verilere göre bir gün önceki güneşlenme radyasyonu verilerini giriş değişkenlerine eklemek YSA yöntemin başarımını arttırmıştır. Koca ve ark. (2011) tarafından İran'da (Dezful) yapılan çalışmada, YSA modeline göre giriş değişkeni, günlük ortalama hava sıcaklığı, bağıl nem, güneşlenme süresi, rüzgar hızı ve buharlaşma değişkenleri ile güneşlenme radyasyonu yüksek başarımla (R= 0.9957) ile elde edilmiştir.



Şekil 3. Güneş radyasyonunun YSA eğitim, doğrulama, test ve tüm veri setleri için saçılma grafikleri



Şekil 4. Ölçülen ve YSA yöntemi ile tahmin edilen güneş radyasyonunun günlere göre dağılımı (Girişler: S, NN, RH, BB, BO, GS, EYS, EDS, TS)



Şekil 5. Ölçülen ve YSA yöntemi ile tahmin edilen güneş radyasyonunun günlere göre dağılımı (Girişler: S, NN, RH, BB, BO, GS, EYS, EDS, TS, GR(t-1))

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, meteorolojik veriler giriş değişkenleri olarak belirlenerek güneş radyasyonu YSA yöntemi ile tahmin edilmiştir. Test verileri için S, NN, RH, BB, BO, GS, EYS, EDS, TS değişkenlerinin ağa giriş olarak verildiği yapıda en yüksek korelasyon katsayısı ($R=0.9603$) elde edilmiştir. Yöntemin başarımı, girişteki meteorolojik değişkenler değiştirilerek de incelenmiştir. Burada, giriş değişkenlerinin azaltılmasına her bir meteorolojik değişkenin güneş radyasyonu ile korelasyonuna göre karar verilmiştir. Giriş değişkenleri azaltıldığında R değerleri de azalmaktadır. Sadece güneşlenme süresinin ağa giriş olarak verildiği yapıda $R=0.9032$ elde edilmiştir ve farklı giriş değişkenleri (ve sayıları) için elde edilen en düşük korelasyon katsayısı olmuştur. İleri beslemeli YSA modeli yaklaşımının diğer meteorolojik değişkenler ile birlikte güneş radyasyonunu tahmin etmek için yüksek bir performans sağladığı ($R=0.9032-0.9603$) gözlemlenmiştir. Ayrıca, yöntemin bir gün önceki güneşlenme radyasyonu verileri ($GR(t-1)$) giriş değişkenlerine eklendiğinde, güneş radyasyonu ($GR(t)$) tahmininde başarımın ($R=0.9625$) arttığı görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan Meteorolojik verilerin temin edilmesini sağlayan, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynakça

Alva, G., Lin, Y., Fang, G. (2018). An overview of thermal energy storage systems. *Energy*, 144, 341–378.

Amanollahi, J., Kaboodvandpour, S., Majidi, H., (2017). Evaluating the accuracy of ANN and LR models to estimate the water quality in Zarivar International Wetland, Iran. *Natural Hazards*, 85, 1511–1527.

Atik, K., Deniz, E., Yıldız, E. (2007). Meteorolojik Verilerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10 (1), 148-152.

Atkins, M.J., Walmsley, M.R.W., Morrison, A.S. (2010). Integration of solar thermal for improved energy efficiency in low-temperature-pinch industrial processes. *Energy* 35, 1867–1873.

Azadeh, A., Maghsoudi, A. and Sohrabkhani, S. (2009). An integrated artificial neural networks approach for predicting global radiation. *Energ. Convers. Manag.* 50, 1497–1505.

Bayat, K. and Mirlatif, S.M. (2009). Estimation of Global Solar Radiation using Regression and Artificial Neural Networks Models. *Bimonthly Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16, 3, 270-280.

Behrang, M. A, Assareh, E., Ghanbarzadeh, A. and Noghrehabadi, A., (2010). The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modelling based on meteorological data. *Sol. Energy* 84; 1468–1480.

Bojanowski, J. S., Donatelli, M., Skidmore, A. K. and Vrieling, A. (2013). An auto-calibration procedure for empirical solar radiation models; *Environ. Model. Softw.* 49, 118–128.

Changa, N.B., Daranpob, A., Yang, Y.J. and Jinc, K.R. (2009). Comparative Data Mining Analysis for Information Retrieval of MODIS Images: Monitoring Lake Turbidity Changes at Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Applied Remote Sensing*, 3, 033549.

Culley, M.R., Carton, A.D., Weaver, S.R., Ogleby-Oliver, E., StreetSun, J.C. (2011). Wind, Rock and Metal: Attitudes toward Renewable and Non-renewable Energy Sources in the Context of Climate Change and Current Energy Debates. *Curr Psychol*, 30, 215–233.

Gibb, D., Johnson, M., Romaní, J., Gasia, J., Cabeza, L.F., Seitz, A. (2018). Process integration of thermal energy storage systems – evaluation methodology and case studies. *Applied Energy*, 230, 750–760.

Heidari, E., Sobati, M.A., Movahedirad, S. (2016). Accurate prediction of nanofluid viscosity using a multilayer perceptron artificial neural network (MLP-ANN). *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 155, 73–85

IEA - International Energy Agency, (2018a). Key World energy statistics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 155 (2016) 73–85

IEA- International Energy Agency, (2018b). CO2 emissions from fuel combustion 2018 report.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Climate change 2007: Synthesis report. New York: Cambridge University Press.

Koca, A., Oztop, H.F., Varol, Y., Koca, G.O. (2011). Estimation of solar radiation using artificial neural networks with different input parameters for Mediterranean region of Anatolia in Turkey. *Expert Syst. Appl.*, 38, 8756-8762.

Koçak, B., Fernandez, A.I., Paksoy, H. (2020). Review on sensible thermal energy storage for industrial solar applications and sustainability aspects. *Solar energy*, 135-169.

Kumar, S., Kaur, T., ve Arora, M. (2015). Estimation of Solar Radiation Using Artificial Neural Network. *International Journal of Science Technology & Management*, 4, 1, 658-662.

Lee, J.S., Choi, H. (2019). Influence of Construction Schemes for a Non-compensatory Composite Indicator on Flood Vulnerability Assessments in the Korean Peninsula. *International Journal of Civil Engineering*, 1317–1325.

Moghadassi, A., Parvizian, F., Hosseini, S. (2009). A new approach based on artificial neural networks for prediction of high pressure vapor–liquid equilibrium *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3, 1851–1862.

Naderloo, L (2020). Prediction of solar radiation on the horizon using neural network methods, ANFIS and RSM (case study: Sarpol-e-Zahab Township, Iran). *J. Earth Syst. Sci.*, 129, 148.

Oğuz, K. ve Pekin, M.A. (2019). Predictability of Fog Visibility with Artificial Neural Network for Esenboga Airport. *European Journal of Science and Technology*, 15, 542-551.

Oreskes, N. (2004). The scientific consensus on climate change. *Science*, 306, 1686–1686.

Özcan, C ve Köprü, E.Y. (2020). Yapay Sinir Ağları ile Sıvı Ham Demir Tahmini ve 5.Yüksek Fırın Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel sayı, 155-162.

Strobl, R.O., Forte, F. (2007) Artificial neural network exploration of the influential factors in drainage network derivation. *Hydrol Process* 21(22):2965–2978.

Şahan, M., Okur, Y. (2016). Akdeniz bölgesine ait meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla güneş

- enerjisinin tahmini. SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 11, 1 .
- Turan, M., Dengiz, O., Turan, İ.D. (2018). Samsun İlinin Newhall Modeline Göre Toprak Sıcaklık ve Nem Rejimlerinin Belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi , 5(2), 131-142.
- UNEP (2015). Solar Heat for Industrial Processes.
- Zhang, T., Liu, Y., Rao, Y., Li, X., Zhao, Q. (2020). Optimal design of building environment with hybrid genetic algorithm, artificial neural network, multivariate regression analysis and fuzzy logic controller. Building and Environment, 175, 106810.



Farklı Toprak Ordolarında Yetiştirilen Ayçiçeği Çeşitlerinin Verim ve Bazı Bitki Özelliklerinin Belirlenmesi

Ferruh Feza Yılmaz¹, Duygu Boyraz Erdem^{2*}

¹ Trakya Yağlı Tohumlar Tarım Satış Kooperatifleri Birliği Entegre Tesisleri Tekirdağ, Türkiye (ORCID:0000-0001-5067-3703) ffezayilmaz@yahoo.com

² Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Tekirdağ, Türkiye (ORCID:0000-0002-9130-8769) dboyraz@nku.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 3 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866659)

ATIF: Yılmaz, F, F. & Boyraz Erdem, D. (2021). 3 Farklı Toprak Ordosunda Yetiştirilen Farklı Ayçiçeği Tohumlarının Verim ve Bazı Bitki Özelliklerinin Belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (25), 688-696.

Öz

Bu araştırma, 2013, 2014 ve 2015 ayçiçeği yetiştirme sezonlarında Tekirdağ İli Marmara Ereğlisi İlçesi Yeniçiftlik Mahallesi lokasyonunda Trakya Bölgesinde ağırlıklı olarak yer alan Typic Xerorthent, Typic Haploxerept ve Typic Haploxerert alt grubunda sınıflandırılan tarım arazilerinde yürütülmüştür. Araştırmada LG5580, P64LL05, Maxtor ve Bosfora yağlık ayçiçeği hibrit tohum çeşitleri materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmada bitki boyu, tabla çapı, tohum verimi, rutubet oranı incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; çeşitlerin bitki boyu uzunlukları 119,0- 156,2 cm, tabla çapı genişlikleri 16,9- 2,8 cm, rutubet oranları %4,50- 8,56, tohum verimleri 160,0- 255,0 kg/da arasında değişmiştir. Ürün deseni için bölge ve ülke genelinde ayrıntılı toprak sınıflandırması yapılması gerekmektedir. Araştırmamızda görüldüğü gibi değişik toprak ordolarında yetiştirilen ayçiçeği tohumlarından elde edilen, ülke ekonomisini de direkt olarak etkileyen verim arasında önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan toprak ordolarında tohum çeşitlerinden P64LL05 ve Bosfora öncelikli olarak tercih edilmesi önerilmektedir. Ayçiçeği yetiştiriciliği için en önemli ekonomik parametere olan tane verimi değerine göre; çiftçi, bölge ve ülke ekonomisine olumlu yönde katkısı bakımından ayçiçeği tohumlarının öncelikli olarak Vertisol toprak ordosunda yetiştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Entisol ve İnceptisol ordolarında ayçiçeği ekiminin yapıldığı gerçeği göz ardı edilmemelidir. Bunun için ürün yetiştirilen topraklarının özellikleri bilinerek tohum seçiminin yapılması gerekliliği çalışmanın sonuçlarıyla da bir kez daha gözler önüne serilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tohum Verimi, Bitki Boyu, Tabla Çapı, Toprak Ordosu

Determination of Yield and Some Plant Characteristics of Sunflower Varieties Grown in Different Soil Orders

Abstract

This research was carried out in agricultural lands classified in Typic Xerorthent, Typic Haploxerept and Typic Haploxerert subgroups, which are predominantly located in Trakya Region in Tekirdağ Province Marmara Ereğlisi District Yeniçiftlik Town in 2013, 2014 and 2015 sunflower growing seasons. LG5580, P64LL05, Maxtor and Bosfora oil sunflower hybrid seed varieties were used as material in the study. Plant height, head diameter, seed yield, and moisture content were investigated in the study. According to the research results; plant height of the varieties varied between 119.0- 156.2 cm, head diameter of 16.9-2.8 cm, moisture content 4.50- 8.56%, seed yields between 160.0- 255.0 kg da⁻¹. Detailed soil classification across the region and country is required for crop pattern. As seen in our research, it has been determined that there are important differences between the yield obtained from sunflower seeds grown in different soil orders, which directly affect the country's economy. It is recommended to prefer primarily seed varieties P64LL05 and Bosfora in the soil ordos used in the study. According to the seed yield value, which is the most important economic parameter for sunflower cultivation; it has been concluded that sunflower seeds should primarily be grown in Vertisol soil order in order to contribute positively to the farmer, region and country economy. The fact that sunflower is planted in Entisol and İnceptisol orders should not be overlooked. For this purpose, the necessity of choosing seeds by knowing the properties of the soils where the crop is grown has been revealed once again with the results of the study.

Keywords: Seed Yield, Plant Height, Table Diameter, Soil Order

1.Giriş

Ayçiçeği, dünyada ve Türkiye’de önemli yağ bitkileri arasındadır. Ayçiçeği üretimi ve Trakya Bölgesi için stratejik öneme sahip bir üründür. Türkiye’nin hemen her bölgesinde ayçiçeği tarımı yapılmasına rağmen, ekiliş alanlarının önemli bir kısmı Trakya Bölgesi’nde yer almaktadır. Türkiye’de, yağlı tohum üretiminin yetersiz oluşu, ham yağ üretimini de yetersiz kılmaktadır. Üretilen ham yağ, iç tüketimdeki gereksinimleri karşılayamadığından, her yıl yurt dışından binlerce ton yağlı tohum ile birlikte ham yağ da ithal edilmektedir. Ayçiçeğinin Türkiye’de en fazla ekim alanına ve üretimine sahip yağ bitkisi oluşu ve halkın genelde bitkisel yağ olarak ayçiçeği yağını tercih etmesi ayçiçeğinin önemini daha da arttırmaktadır. Bu nedenle üretimin artırılabilmesi için, birim alan veriminin ve tohumdaki yağ oranının yükseltilmesi hedeflenmektedir. Ayçiçeği ekim alanlarının artması, çiftçilerin yüksek verim ve kalitede ürün yetiştirmesi ülke ve bölge ekonomisine direk katkı sağlayacaktır. Ayçiçeği tarımında verimin artırılması için, kaliteli tohum kullanımından, modern yetiştirme tekniklerinin uygulanmasına kadar, her türlü önlemin alınması gerekmektedir. Verimliliğin ve ürün kalitesinin artırılması suretiyle, yurt içinde ayçiçeği fiyatlarının dünya piyasalarındaki fiyatlar civarında oluşması, üretimin önünü açacak önemli bir başarı olacaktır (Arioğlu, 1999). Hızla artan dünya nüfusunun yeterli ve dengeli bir düzeyde beslenebilmesi ancak tarımda verimliliğin önemli ölçüde artırılması ile mümkündür. Bu amaçla, günümüzde tarım alanında başta ıslah çalışmaları olmak üzere çok çeşitli agronomik çalışmalar yapılmakta ve elde edilen sonuçlarla tarımda verimliliğe katkılar sağlanmaktadır. Islah çalışmaları sayesinde

kaliteli ve yüksek verimli hibrit çeşitlerin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması verimi artırma yolunda önemli bir adımdır. Ancak yüksek verim için, verim özelliklerini ve çevre koşullarındaki performanslarını test ederek her çeşit için uygun toprak, iklim ve yetiştirme tekniklerini belirlemek gereklidir.

Yılmaz ve Boyraz Erdem (2020) yaptıkları çalışmada Trakya Bölgesi koşullarında 2013, 2014 ve 2015 yıllarında farklı toprak ordolarında ve ayçiçeği çeşitlerinin ham yağ ve yağ kalitesi parametrelerinin üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Yağ içerikleri varyans analizine göre 0,01 güven seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir ve %31,79 ile %43,69 arasında değişmektedir. Toprak Ordolarından Vertisol ordosu toprağı, yağ içeriği açısından diğer topraklardan daha yüksek değerlere sahip bulunmuştur.

Bu araştırmada; farklı ayçiçeği tohumları denenmiş ve tohumların toprak özellikleriyle uyumu, farklı tohum çeşitlerinin farklı toprak ordosunda bitki boyu, tabla çapı, tohum verimi, rutubet oranı üzerine etkileri araştırılmış ve istatistiki olarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ülke ve bölge genelinde farklı toprak özelliklerindeki topraklara sahip olan üreticilere faydası olacağı düşünülmektedir.

2.Materyal ve Metot

Çalışmamızın yürütüldüğü deneme alanlarından toprak örneklerinin alındığı noktalar, Tekirdağ İli Marmara Ereğlisi İlçesi Yeniçiftlik Mahallesi’nde 41°01’54" enlem ve 27°46’07" boylam (Typic Xerorthent), 41°01’31" enlem ve 27°45’48" boylam (Typic Haploxerept), 41°01’54" enlem ve 27°54’41" boylamda (Typic Haploxerert) yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma noktalarını gösterir Google Earth Görüntüsü

Araştırmada verim ve yağ oranları yüksek olan 4 farklı ayçiçeği hibrit tohum çeşidi (LG 5580, P64 LL05, Maxtor ve Bosfora) kullanılmıştır.

Tekirdağ İli’nde 1960- 2015 yılları arası uzun yıllar ortalaması sıcaklık 14,1 °C, yıllık ortalama yağış miktarı 586,3 mm, yıllık ortalama nisbi nem %77,66’dır (Anonim 2016). Deneme sürecine ait bazı iklim verileri Tablo 1’de verilmiştir. Bu verilere göre 2013 yılında en düşük sıcaklık ortalaması 6,2 °C ile Aralık ayında, 2014 yılında 8,0 °C ile Ocak ayında ve 2015 yılında

5,6 °C ile Ocak ayındadır. En yüksek sıcaklık ortalaması 2013 yılında 25,9 °C, 2014 yılında 25,3 °C, 2015 yılında 26,1 °C ile Ağustos ayındadır. İl iklim verilerine göre 2013 yılında Ağustos ayında hiç yağış olmamasına karşın Ekim ayında 96,4 mm ile en fazla yağış düşmüştür. 2014 yılında Eylül ayında (0,8 mm) en düşük 102,1 mm ile Ekim ayında en yüksek yağışı almıştır. 2015 yılında Ağustos ayında hiç yağış düşmemiştir. Şubat ayında ise 94,6 mm ile en fazla yağış düşmüştür. Araştırma alanı toprakları

xeric nem rejiminde ve thermic toprak sıcaklığı rejiminde saptanmıştır (Buringh, 1968 ve Soil Survey Staff, 1996).

Tablo 1. Deneme yılları için Tekirdağ İlinin bazı iklim verileri

Yıl	İklim verileri	AYLAR											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2013	Ortalama Sıcaklık (°C)	6,5	7,8	9,5	13,5	19,5	22,4	24,7	25,9	21,6	14,4	13,0	6,2
	Max. Sıcaklık Ort. (°C)	10,0	10,7	13,7	17,7	23,9	26,7	28,7	30,1	25,6	18,1	16,1	9,7
	Min. Sıcaklık Ort. (°C)	3,6	5,2	6,3	9,6	15,5	18,1	20,1	21,9	17,2	11,0	10,2	3,2
	Ort. Yağış Mik. (mm)	93,6	95,2	52,8	15,8	8,0	34,8	0,2	0	10,2	96,4	36,4	2,4
2014	Ortalama Sıcaklık (°C)	8,0	8,4	9,9	13,3	17,4	21,7	24,7	25,3	20,7	15,9	11,0	9,4
	Max. Sıcaklık Ort. (°C)	11,2	11,9	14,1	17,2	21,6	26,2	29,2	30,1	25,2	19,1	14,5	12,3
	Min. Sıcaklık Ort. (°C)	5,3	5,9	6,4	9,9	13,6	17,7	20,2	20,9	16,9	12,4	8,8	6,8
	Ort. Yağış Mik. (mm)	44,0	5,6	65,6	41,2	64,2	60,0	52,8	6,1	0,8	102,1	35,2	80,3
2015	Ortalama Sıcaklık (°C)	5,6	6,5	8,5	11,3	18,5	21,4	24,9	26,1	22,8	16,4	13,8	7,4
	Max. Sıcaklık Ort. (°C)	9,2	9,6	11,4	15,8	22,9	25,8	29,5	30,5	27,4	20,4	18,5	12,1
	Min. Sıcaklık Ort. (°C)	2,8	3,9	6,0	7,6	14,7	17,3	19,9	21,8	19,1	13,2	10,2	4,0
	Ort. Yağış Mik. (mm)	61,5	94,6	29,7	65,2	32,2	62,8	0,5	0	34,9	85,1	48,6	79,9

Mayıs ayının ilk haftasında toprak tavının uygun olduğu zamanda ekim yapılmıştır. Parseller her bir çeşit için sıra arası 70 cm, sıra üzeri mesafeler 30 cm olarak tutulmuştur. Her bir parselin büyüklüğü 3 dekadır. Ekim ile birlikte her yıl ve her toprağa 20 kg/da 20.20.0 kompoze gübre ile birlikte 6 kg/da üre, çapalama döneminde de 10 kg/da amonyum nitrat (%33) gübresi uygulanmıştır. Tüm parsellerde hasat olgunluğuna gelen 20 bitki toprak seviyesinden tabla birleşme noktasına kadar olan dikey mesafe ölçülmüş ve ortalamaları alınarak bitki boyu bulunmuştur. Hasat olgunluğuna gelen bitkilerin parsellerinden tesadüfi olarak seçilerek 20 bitki tablası dıştan dışa ölçülerek ortalama tabla çapı değeri alınmıştır. Her parselden biçerdöver ile biçilip traktör römorklarına dökülen tohumlar kantarda tartılarak dekara tohum verimi bulunmuştur. Rutubet oranı (%) TS 9059 EN ISO 5511 (Anonim 2000) metoduna göre yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler birleştirilerek bölünen bölünmüş parseller deneme deseni varyans analizine tabi tutulmuştur. Verilerin analizinde TARİST ve MSTAT istatistiki analiz paket programından faydalanılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılıkların gruplandırılmaları ise LSD Çoklu Karşılaştırma testine göre %1 ve %5 olasılık sınırlarına göre yapılmıştır (Soysal, 1993).

Typic Xerorthent Alt grubunda sınıflandırılan (Soil Survey Staff, 1996) topraklar kil tekstür sınıfında toprak reaksiyonu hafif

Tablo 2. Entisol Ordosuna Ait Fiziksel ve Kimyasal Toprak Analiz Sonuçları

Horizon Derinlik (cm)	pH (1/2.5 toprak-su süs.)	EC (µs/cm)	Organik Madde (%)	Kireç (%)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Tekstür Sınıfı
Ap 0- 17	7,57	233	1,04	6,18	25,28	48,72	26,00	Kil (C)
Ad 17- 37	7,58	166	1,03	5,87	25,28	48,72	26,00	Kil (C)
A 37- 60	7,59	158	0,76	10,88	21,28	48,72	30,00	Kil (C)
ACk 60- 76	7,62	157	0,66	17,75	22,92	46,72	30,36	Kil (C)
CAk 76- 92	7,61	147	0,35	23,93	18,92	44,72	36,36	Kil (C)
Ck 92+	7,72	148	0,21	32,73	14,92	43,08	42,00	Siltli Kil (SiC)

alkali, tuzsuz, organik madde az, 37 cm'nin altına inildikçe çok az sınıfında, üst horizonlar kireçli 37 cm'nin altı çok kireçli sınıfındadır. Typic Haploxerept Alt grubunda sınıflandırılan topraklar kil tekstür sınıfında, nötr- hafif alkali toprak reaksiyonunda, tuzsuz, organik madde içeriği yüzey horizonunda az, altlarda çok az sınıfındadır. Kireç dağılımı yüzey horizonunda kireçli, yüzey altında çok kireçlidir. Typic Haploxerert Alt grubunda toprak tekstürü kil, toprak reaksiyonu nötr- hafif alkali, tuzsuz, organik madde yüzey horizonlarında az, altlarda çok az olup kireçli topraklardır (Yılmaz, 2017).

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Bu çalışmada 2013-2015 yıllarında 3 farklı toprak ordosunda deneme kurulmuş ve deneme topraklarına ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 2, 3 ve 4'de verilmiştir. Yetiştirilen 4 farklı tohum çeşidinin bitki boyu, tabla çapı, tohum verimi, rutubet oranı araştırılmış ve istatistiki olarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen 2013 yılı verileri Tablo 5'de, 2014 yılı verileri Tablo 6'da ve 2015 yılı verileri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 3. İnceptisol Ordosuna Ait Fiziksel ve Kimyasal Toprak Analiz Sonuçları

Horizon Derinlik (cm)	pH (1/2.5 toprak-su süs.)	EC ($\mu\text{s/cm}$)	Organik Madde (%)	Kireç (%)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Tekstür Sınıfı
Ap 0- 25	7,35	267	1,07	0,96	26,92	47,08	26,00	Kil (C)
Bw ₁ 25- 52	7,11	107	0,65	1,13	26,92	49,04	23,64	Kil (C)
Bw ₂ 52- 82	7,51	177	0,43	2,44	26,92	47,44	25,64	Kil (C)
BC 82- 101	7,71	202	0,35	8,19	24,20	49,80	26,00	Kil (C)
C ₁ 101- 127	7,83	217	0,31	9,75	22,20	51,80	26,00	Kil (C)
C ₂ 127+	8,03	280	0,08	13,28	26,20	45,80	28,00	Kil (C)

Tablo 4. Vertisol Ordosuna Ait Fiziksel ve Kimyasal Toprak Analiz Sonuçları

Horizon Derinlik (cm)	pH (1/2.5 toprak-su süs.)	EC ($\mu\text{s/cm}$)	Organik Madde (%)	Kireç (%)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Tekstür Sınıfı
Ap 0-15	7,33	186	1,18	1,22	32,20	47,44	20,36	Kil (C)
Ad 15- 39	7,30	141	1,07	1,04	32,20	47,44	20,36	Kil (C)
Ass ₁ 39- 76	7,55	144	0,48	2,96	34,20	49,44	16,36	Kil (C)
Ass ₂ 76- 97	7,72	173	0,54	5,39	33,28	48,72	18,00	Kil (C)
AC 97- 116	8,20	213	0,32	6,10	34,92	50,72	14,36	Kil (C)
Ck 116+	8,48	280	0,30	10,97	31,28	48,72	20,00	Kil (C)

Tablo 5. Ayçiçeği tohumlarının 2013 yılı verim ve bazı bitki özellikleri

Toprak Tipleri	Variety	Verim (kg da ⁻¹)	Rutubet Oranı (%)	Bitki Boyu (cm)	Tabla Çapı (cm)
Entisol	LG5580	204	6.06	152.60	18.40
	P64LL05	211	6.07	151.20	19.20
	Maxtor	193	6.00	156.00	20.83
	Bosfora	222	5.97	156.20	19.40
İnceptisol	LG5580	229	5.99	142.50	20.20
	P64LL05	193	5.39	148.30	22.60
	Maxtor	164	5.83	144.40	18.40
	Bosfora	222	6.52	151.20	22.80
Vertisol	LG5580	218	5.77	138.80	22.60
	P64LL05	227	5.95	141.30	22.70
	Maxtor	210	6.41	140.70	21.60
	Bosfora	253	5.80	146.50	21.20

Tablo 6. Ayçiçeği tohumlarının 2014 yılı verim ve bazı bitki özellikleri

Toprak Tipleri	Variety	Verim (kg da ⁻¹)	Rutubet Oranı (%)	Bitki Boyu (cm)	Tabla Çapı (cm)
Entisol	LG5580	190	8.04	148.40	19.10
	P64LL05	200	7.71	145.70	18.80
	Maxtor	160	6.98	150.40	20.20
	Bosfora	185	8.56	151.60	20.00
İnceptisol	LG5580	200	7.24	142.50	19.80
	P64LL05	210	7.14	148.30	21.60
	Maxtor	175	7.83	144.40	18.00
	Bosfora	190	8.22	151.20	21.90
Vertisol	LG5580	218	5.11	138.80	21.20
	P64LL05	241	5.50	141.30	21.40
	Maxtor	204	5.46	140.70	20.30
	Bosfora	241	4.50	146.50	20.00

Tablo 7. Ayçiçeği tohumlarının 2015 yılı verim ve bazı bitki özellikleri

Toprak Tipleri	Variety	Verim (kg da ⁻¹)	Rutubet Oranı (%)	Bitki Boyu (cm)	Tabla Çapı (cm)
Entisol	LG5580	218	6.60	137.00	18.96
	P64LL05	253	7.65	119.00	20.08
	Maxtor	218	7.46	129.75	18.03
	Bosfora	255	6.25	128.00	19.25
İnceptisol	LG5580	213	6.59	143.25	18.61
	P64LL05	210	6.50	128.00	19.13
	Maxtor	251	7.78	134.00	18.63
	Bosfora	177	6.15	136.50	16.90
Vertisol	LG5580	234	6.04	151.15	20.64
	P64LL05	211	5.37	146.35	18.79
	Maxtor	254	6.17	147.50	20.85
	Bosfora	197	5.66	149.40	18.21

Tablo 5 incelendiğinde bitki boyu 2013 yılı verilerine göre en iyi sonucu Entisol ordosunda ve Bosfora (156,20 cm) ve Maxtor (156,00 cm) tohum çeşitlerinde elde edilmiştir. Entisol toprağında LG5580 (152,60 cm), P64LL05 (151,20 cm) ve buna paralellik gösteren İnceptisol ordosunda Bosfora (151,20 cm) ile diğer ordolardaki sonuçlardan daha fazla oldukları görülmektedir. 2014 yılı verileri değerlendirildiğinde (Tablo 6) bitki boyu Entisol ordosunda ve Bosfora (151,60 cm) ve Maxtor (151,40 cm) tohum çeşitlerinde ve İnceptisol ordosunda Bosfora (151,20 cm) en iyi sonucu vermiştir. Bu durum toprak ve tohum çeşidi açısından 2013 yılı verileri ile paralellik göstermektedir. 2015 yılı verileri incelendiğinde (Tablo 7) ise 2013 ve 2014 yılı verilerinden ayrıcalık göstererek Vertisol ordosunda LG5580 (151,15 cm) ve Bosfora (149,40 cm) en iyi sonucu vermiştir. Bu farklılığın deneme alanlarının aynı bölgede olmasına rağmen lokal yağış miktarlarının ve zamanlarının farklılık göstermesi, bunun sonucunda toprağın tav koşullarının değişmesi ve toprakta bulunan su miktarının değişkenlik göstermesiyle açıklanabilir. Bitki boyu farklılıklarının yıllar arasındaki sıcaklık ve yağış farkından kaynaklanabileceğini (Gül, 2013), bitki boyu üzerine genetik yapının en belirleyici faktörlerden birisi olduğunu (Poyraz, 2012) bildirmişlerdir. Bunun yanında makinalı hasada uygunluk açısından bitki boyu önem taşımaktadır. Özellikle bitki boyu uzadıkça hasat kayıpları artmaktadır (Robinson 1978) ve bitki boyu uzadıkça genel olarak vejetasyon süresi artmaktadır (Turan ve Göksoy, 1998). Ekim zamanlarından bitki boyunun etkilendiğini Pasin (2000) bildirmiştir. Gözütok (1986) bitki boyunun geniş bir varyasyona sahip olduğu görüşündedir. Bu nedenle kantitatif bir özellik olan bitki boyunun çevre koşullarına göre farklılık göstermesi beklenen bir durumdur. Ayçiçeği çeşitlerinde bitki boylarının 106,25- 165,00 cm (Amabile vd., 2015), 110,00- 160,00 cm (Atakişi, 1985), 104,50- 155,00 cm (Caraffa, 2015), 11,02- 167,59 cm (Coşge, 2001), 115,60- 141,50 cm (Gür vd., 1997), 124,50- 150,40 cm (Kara, 1984), Lüleburgaz lokasyonunda 2009 yılında 127,50- 162,50 cm (Kılıç, 2010), 114,20- 163,70 cm (Oral & Kara 1989), 109,00- 149,50 cm, arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Sadozai, 2013). Araştırmada belirlenen 119,00- 156,20 cm arasındaki bitki boyları daha önce yapılmış çalışmalar ile paralellik göstermektedir. Santos (2014) İnceptisol toprak ordosu topraklarında bitki boylarını 105,00- 170,00 cm arasında bulmuştur ve araştırmamızdaki İnceptisol toprak ordosu

topraklarından elde edilen 128,00- 151,20 cm arasında değişen bitki boyları araştırmamızın sınır değerleri arasındadır.

Ayçiçeği çeşitlerinde tabla çapları arasındaki farklılık uygulanan kültürel yöntemlerdeki farklılıklardan, genotip özelliğinden ve ekolojik koşullardan kaynaklanmaktadır ve önemli bir verim komponentidir (Wolf, 1953). Tabla çapı üzerine çevresel faktörlerin etkisi oldukça fazladır (Akkaya, 2006). Tablo 5 incelendiğinde tabla çapı 2013 yılı verilerine göre en iyi sonucu İnceptisol ordosunda Bosfora (22,80 cm), P64LL05 (22,60 cm) ve Vertisol ordosunda P64LL05 (22,70 cm), LG5580 (22,60 cm) tohum çeşidinde elde edilmiştir.

2014 yılı verileri değerlendirildiğinde (Tablo 6) tabla çapı İnceptisol ordosunda Bosfora (21,90 cm) ve P64LL05 (21,60 cm) tohum çeşitlerinde ve Vertisol ordosunda P64LL05 (21,40 cm), LG5580 (21,20 cm) en iyi sonucu vermiştir. Bu durum toprak ve tohum çeşidi açısından 2013 yılı verileri ile paralellik göstermektedir. 2015 yılı verileri incelendiğinde ise 2013 ve 2014 yılı verilerinden ayrıcalık göstererek Vertisol ordosunda Maxtor (20,85 cm), LG5580 (20,64 cm) en iyi sonucu vermiştir. Ayçiçeği çeşitlerinde tabla çapları arasındaki farklılık uygulanan kültürel yöntemlerdeki farklılıklardan, genotip özelliğinden ve ekolojik koşullardan kaynaklanmaktadır ve önemli bir verim komponentidir (Wolf, 1953). Tabla çapı üzerine çevresel faktörlerin etkisi oldukça fazladır (Akkaya, 2006). Ayçiçeği çeşitlerinde tabla boylarının 15,00- 23,00 cm (Başalma, 2009), 17,50- 23,60 cm (Gider, 1990), 16,20- 22,50 cm (İon 2015), 16,48- 21,32 cm (Kandemir, 1991), 16,80- 21,20 cm (Koç & Noyan, 1997), 15,20- 22,20 cm (Nasim, 2012), 16,45- 22,40 cm (Sala vd., 2015), 17,00- 23,00 cm (Tan, 2010), 14,91- 22,49 cm (Yıldız, 2014), arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Araştırmamızda belirlenen 16,90- 22,80 cm arasındaki tabla çapları araştırmamızın bulgularıyla paralellik göstermektedir. Mızrak (2006), Entisol toprak ordosunda tabla çaplarını 16,57- 24,33 cm arasında bulmuş ve araştırmamızdaki Entisol toprak ordosunda bulunan 18,03- 20,83 cm arasında değişen tabla çapları değerleri araştırmamızın saptadığı değer aralığındadır. Tabla çapı ile ilgili yıllar arasında oluşan farklılığın iklim farklılığından kaynaklanabileceğini (Gül, 2013), tabla çapının genetik ve çevre koşullarından önemli ölçüde etkilendiğini (Poyraz, 2012) bildirmişlerdir.

Yağlık ayçiçeğinin ticari bir bitki olmasının ilk nedeni taneleridir. Bitkinin karlılığını belirleyen birinci karakter birim alandan sağlanan tohum verimidir. Tohum verimi son derece

karmaşık bir karakter olup çevre koşullarından, genotipten ve yetiştirme tekniği uygulamalarından önemli derecede etkilenir veya bunların belirleyici etkileriyle ortaya çıkar (Akkaya 2006). Çalışmada verim miktarları 2013 yılında İnceptisol Ordosunda LG5580 (229 kg da⁻¹), Vertisol ordosunda P64LL05 (2,27 kg da⁻¹), İnceptisol ve Entisol ordolarında Bosfora (222 kg da⁻¹) en yüksek sonuca ulaşmıştır. Vertisol ordosunda P64LL05 (241 kg da⁻¹) tohum çeşidiyle 2014 yılının en iyi sonucu elde edilmiştir. 2015 yılında, Entisol ordosunda Bosfora 255 kg da⁻¹ ve P64LL05 253 kg da⁻¹ ile Vertisol ordosunda Maxtor 254 kg da⁻¹ ve İnceptisol ordosunda Maxtor 251 kg da⁻¹ tohum çeşitleriyle 3 yılın verim değerlerinin de üstünde sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmamızda belirlenen 160,00- 255,00 kg/da arasındaki tohum verimleri 165,00- 273,50 kg/da (Ali vd., 2013), 161,90-227,90 kg/da (Gider,1990), 177,60- 222,50 kg/da (Göksoy & Turan, 2000), 163,40- 227,20 kg/da (Göksoy vd., 2001), 153,00- 225,00 kg/da (Hall vd., 2013), 160,00- 255,00 kg/da (Kara, 1984), 135,50- 240,20 kg/da (Katar vd., 2012), 166,60-219,53 kg/da (Kümeağaç & Sağlam,2005), 160,00- 230,00 kg/da (Portela de Carvalho, 2014), 156,00- 223,00 kg/da (Potter & McCloud, 1985), 166,00- 256,70 kg/da Ribeiro vd., 2015) arasında belirleyen araştırmacıların bulgularıyla paralellik göstermektedir. İnceptisol toprak ordosunda bulunan 164,00- 251,00 kg/da arasında değişen tohum verimleri İnceptisol toprak ordosunda tohum verimleri (Miralles, 1997) 165,00- 250,00 kg/da arasında, (Majidian vd., 2007) 93,30- 226,00 kg/da arasında, (96) 147,841-319,687 kg/da (Santos, 2014) arasında bulmuş ve bu değerler araştırmamızdaki ile paralellik göstermiştir. Araştırmamızda Entisol toprak ordosunda 160,00- 255,00 kg/da arasında bulduğumuz verim değerlerinin alt sınırı Mızrak (2006)'ın 148,00- 175,00 kg/da, Grunvald vd, (2008)'nin 100,30- 173,60 kg/da arasında bulduğu değerler arasında yer almakta, üst sınır değerimiz ise bu araştırmacıların değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bhattacharyya vd. (2015)'nin Vertisol toprak ordosunda tohum verimlerini 141,00- 229,00 kg/da arasında bulduğu üst değer araştırmamızdaki Vertisol toprak ordosunda bulunan 197,00- 254,00 kg/da arasında değişen tohum verim değerinin içinde yer almıştır. Çeşitlerin tane verimi

değişkenliğinin genetik farklılıktan kaynaklandığını (Gül, 2013), tane verimine iklim şartları, yükselti ve toprak etmenlerinin etkili olduğunu (Poyraz, 2012) bildirmişlerdir.

Bitkisel yağ sektörü bakımından ayçiçeği tohumlarında rutubet değeri iki nedenle büyük önem kazanmaktadır. Bunlardan birincisi yağlı tohumların depolanmasında kritik rutubet değerinin aşılması, diğeri ise ham yağa işlenecek tohumun belirli bir rutubet değerine sahip olması gerekliliğidir (Başoğlu, 2010). Uygun bir depolama için ayçiçeği tohumunun %10'un altında ve tohumlarında temiz olması gerektiğini, hasat sonrası %11- 12 civarında, depolanan ayçiçeği tohumlarının ise sık sık havalandırılması ve ortamın serin tutularak kızıışmanın önlenmesi gerektiği (Kaya, 2013) belirtilmiştir.

2013 yılı verilerine göre rutubet oranı %5,39-6,52 arasında değiştiği, 2014 yılı verilerine göre %4,50-8,56 arasında daha geniş aralıkta değişim gösterdiği, 2015 yılı verilerine göre %5,37-7,78 arasında değiştiği belirlenmiştir. Türkiye'de ayçiçeği tohumlarının rutubet oranlarının %6,0- 11,0 arasında değiştiği (Kayahan, 2006) tarafından belirtilmektedir. Ayçiçeği tohumlarında rutubet oranını %6,30- 6,90 (Alparslan, 1993), %5,41- 7,95 (Pilaslı, 2014) arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Araştırmamızda belirlenen %4,50- 8,56 arasındaki rutubet oranı araştırmacıların bulgularıyla paralellik göstermektedir.

Tablo 8'de verilen istatistiksel değerlendirmelere göre; tüm parametrelerde tekerrürün önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Bitki boyu, tabla çapı ve verim parametrelerinin tümünde yıllar arası, toprak çeşitleri arasında, yıl toprak çeşitleri ilişkisi, tohum çeşitleri arasında, yıl tohum çeşitleri ilişkisi, toprak çeşidi ve tohum çeşidi arasındaki interaksiyon, yıl, toprak çeşidi ve tohum çeşidi arasındaki interaksiyonların tümü p<0,01 düzeyinde önemlidir. Rutubet oranı ise yıllar arasında p<0,05 düzeyinde önemli, tohum çeşitleri arasında önemsiz bulunmuş olup toprak çeşitleri arasında, yıl toprak çeşitleri ilişkisi, yıl tohum çeşitleri ilişkisi, toprak çeşidi ve tohum çeşidi arasındaki interaksiyon, yıl, toprak çeşidi ve tohum çeşidi arasındaki interaksiyonların tümü p<0,01 düzeyinde önemlidir.

Tablo 8. Deneme konularından elde edilen parametrelere ilişkin istatistiksel analiz özetleri

Çeşitler	Verim (kg da ⁻¹)	Rutubet Oranı (%)	Bitki Boyu (cm)	Tabla Çapı (cm)
Tekerrür	ns	ns	ns	ns
Yıl	** LSD _{0,01} : 3,849	* LSD _{0,05} :0,599	** LSD _{0,01} :0,655	** LSD _{0,01} : 0,444
Toprak Çeşitleri	** LSD _{0,01} : 2,054	** LSD _{0,01} :0,256	** LSD _{0,01} :0,494	** LSD _{0,01} : 0,130
Yıl x Toprak çeşidi	** LSD _{0,01} : 3,558	** LSD _{0,01} :0,443	** LSD _{0,01} :0,198	** LSD _{0,01} : 0,227
Tohum çeşidi	** LSD _{0,01} :2,715	ns	** LSD _{0,01} :0,554	** LSD _{0,01} :0,209
Yıl x tohum çeşidi	** LSD _{0,01} : 4,699	** LSD _{0,01} :0,560	** LSD _{0,01} :0,959	** LSD _{0,01} : 0,362
Toprak çeşidi x Tohum çeşidi	** LSD _{0,01} :4,699	** LSD _{0,01} :0,560	** LSD _{0,01} :0,959	** LSD _{0,01} : 0,362
Yıl x Toprak çeşidi x Tohum çeşidi	** LSD _{0,01} : 8,138	** LSD _{0,01} :0,971	** LSD _{0,01} :1,661	** LSD _{0,01} : 0,626

ns: önemsiz, *: p <0,05 düzeyinde önemli, **: p <0,01 düzeyinde önemli

4. Sonuç

Ayçiçeğinde verim ve kalite parametrelerini etkileyen en önemli faktörler tohumların genotip özellikleri ile birlikte

ekolojik koşullar ve üretimin yapıldığı ana kaynak olan topraktır. Tekirdağ ekolojik koşullarında 2013, 2014 ve 2015 üretim yıllarında yürütülen çalışmada farklı toprak ordolarında farklı yağlık ayçiçeği tohumlarını yetiştirerek verim ve bazı

özelliklerini istatistiksel olarak karşılaştırmak ve araştırmada kullanılan ayçiçeği tohumlarının hangi toprak ordosunda daha iyi gelişim gösterdiğini ortaya koymak amaçlanmıştır. İstatistiki hesaplamalara veri olarak alınan verim ve gelişim parametrelerinin değerleri tüm yıllarda 3 tekerrür olarak kurulmuş olan arazi denemelerinin ortalamalarıdır. Bu değerlerin alt ve üst sınırları; bitki boyunda 119,00- 156,20 cm, tabla çapında 16,90-22,80 cm, tohum veriminde 160,00- 255,00 kg/da, rutubet oranında % 4,50- 8,56 arasında bulunmuştur. Sonuç olarak; ürün deseni için bölge ve ülke genelinde ayrıntılı toprak sınıflandırması yapılması gerekmektedir. Araştırmamızda görüldüğü gibi değişik toprak ordolarında yetiştirilen ayçiçeği tohumlarından elde edilen, ülke ekonomisini de direk olarak etkileyen verim arasında önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan toprak ordolarında tohum çeşitlerinden P64LL05 ve Bosfora öncelikli olarak tercih edilmesi önerilmektedir. Ayçiçeği yetiştiriciliği için en önemli ekonomik parametere olan tane verimi değerine göre; çiftçi, bölge ve ülke ekonomisine olumlu yönde katkısı bakımından ayçiçeği tohumlarının öncelikli olarak Vertisol toprak ordosunda yetiştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Entisol ve İnceptisol ordolarında ayçiçeği ekiminin yapıldığı gerçeği göz ardı edilmemelidir. Bunun için ürün yetiştirilen topraklarının özellikleri bilinerek tohum seçiminin yapılması gerekliliği çalışmanın sonuçlarıyla da bir kez daha gözler önüne serilmiştir. Bu arazilerden en iyi mahsüldarlığın sağlanabilmesi için uygulanması gereken doğru toprak amenajman kuramları doğrultusunda doğal nitelik ve yeteneklerine göre sürdürülebilir arazi yönetimiyle yönlendirilmesi gerekmektedir. Topraklarımızın doğru sınıflandırılarak yapılacak ayçiçeği çeşit ıslah çalışmalarında iklim farklılıklarının yanında öncelikli olarak toprak çeşitlerinde dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Türkiye’de; Arazi Kullanım Planlaması, Kırsal Arazi Planlaması, Tarımsal Üretim Planlaması ve Toprak Amenajmanı Pojelerini yapabilmek için Ayrıntılı Toprak Haritalarının Toprak Taksonomisine göre yapılması gerekir. Bu planlamalar doğrultusunda ayçiçeği ekim alanlarının artırılması ile Türkiye’nin yağ açığının kapanması, ulusal bütçe dengesinin oluşturularak üreticilerde kalması sağlanacaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Ferruh Feza YILMAZ’ın Doktora tezinin bir kısmından türetilmiştir. Emegi geçenlere teşekkür ederiz.

Kaynakça

Akkaya, İ. (2006). Çerezlik ayçiçeği çeşitlerinde (*Helianthus annuus L.*) ekim zamanı ve bitki sıklığının verim ve kalite özellikleri üzerine etkisi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bursa.

Ali, A., Aziz, M., Hassan, S.W., Asif, M., Ahmad, S., Mubeen, M. and Yasin, M. (2013). Growth and yield performance of various spring planted sunflower (*Helianthus annuus L.*) hybrids under semi arid conditions of Sargodha, Pakistan. *Science International*, 25 (2): 341- 344.

Alpaslan, M. (1993). Trakya bölgesinde yaygın olarak üretimi yapılan ayçiçeği çeşitlerinin yağlarının özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Amabile, R.F., Montalvao, A. P. L., Sala, P.I.A.L., Sayd, R.M., De Carvalho, C.G.P. & Fagioli, M. (2015). Temporal effect on morphoagronomic characteristics of genotypes of sunflower in the Brazilian Savannah at Distrito Federal in the second crop of 2013 and 2014. XXI Reuniao Nacional de Pesquisa de

Girassol, IX Simposio Nacional sobre a Cultura do Girassol Anais, Documentos: 363, 172- 175, Londrina, Parana, Brasil.

Anonim (2016). Meteorolojik Tekirdağ verileri, Meteoroloji İl Müdürlüğü 2016.

Anonim (2000). TSE Türk Standartları Enstitüsü TS 12302, TS 886, TS 9059 EN ISO 5511 Standartları.

Arıoğlu, H.H. (1999). Yağ bitkileri yetiştirme ve ıslahı. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No: 220, Ders Kitapları Yayın No: A- 70, Adana. 204s.

Ataşi, İ.K. (1985). Yağ bitkileri yetiştirme ve ıslahı. Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Notu, No: 17, Tekirdağ.

Başalma, D. (2009). Ayçiçeği çeşitlerinin verim unsurları yağ oranları ve yağ verimleri bakımından karşılaştırılması. Türkiye 8. Tarla Bitkileri Kongresi, 148- 152.

Başoğlu, F. (2010). Yağlı Tohum Meyve Ticareti ve Borsa Kriterleri. Yemeklik Yağ Teknolojisi. Bursa, 97- 105.

Bhattacharyya, K., Mandal, J., Banerjee, H., Alipatra, A., Ray, K. & Phonglosa, A. (2015). Boron fertilization in sunflower (*Helianthus annuus L.*) in an Inceptisol of West Bengal, India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46: 528- 54

Buringh, P. (1968). Introduction to the Study of Soils in Tropical and Subtropical Regions. Pudoc. Wageningen.

Caraffa, M., Riffel, C.T., Decker, V.A. & Carneiro, E.A. (2015). Sunflower genotypes competition in tres De Maio, Rio Grande Do Sul, Season 2014. XXI Reuniao Nacional de Pesquisa de Girassol, IX Simposio Nacional sobre a Cultura do Girassol Anais, Documentos: 363, 153- 156, Londrina, Parana, Brasil.

Coşge, B. (2001). Genetik erkısır ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) hat ve hibritlerinde doğal tozlanmanın verim ve verim öğeleri üzerine etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara.

Gider, Ş. (1990). Trakya bölgesinde bazı hibrit ayçiçeği çeşitlerinin verim ve verim unsurları üzerinde araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Göksoy, A.T. & Turan, Z.M. (2000). Ayçiçeğinde (*Helianthus annuus L.*) yeni geliştirilen sentetik çeşitlerin bazı tarımsal özellikleri ve melez performansları üzerinde araştırmalar. *Turkish Journal Agriculture Forestry*, 24: 247- 254.

Göksoy, A.T., Türkeç, A. & Turan, Z.M. (2001). Hibrid ayçiçeği ıslahında kombinasyon kabiliyeti melez gücü ve orobanşa (*Orobanche cumana Wallr*) dayanıklılık üzerine bir araştırma. Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi, 33- 37, Tekirdağ.

Gözütok, M. (1986). Akdeniz bölgesinde ayçiçeği ekim zamanının verimle ilişkisi. İkinci ürün tarımı araştırma özetleri. T.O.K.B. Akdeniz Zirai Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yayın No: 9, sf: 10.

Grunvald, A.K., De Carvalho, C.G.P., De Oliveira, A.C.B. & Andrade, C.A.B. (2008). Adaptability and stability of sunflower genotypes in central Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 43 (11): 1483- 1493.

Gül, V. (2013). Farklı gelişme sürelerine sahip yağlık ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) genotiplerinin farklı azot dozlarına tepkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Erzurum.

Gür, M.A., Kılıç, H., Özel, A. & Çopur, O. (1997). Harran ovası koşullarında farklı ayçiçeği çeşitlerinin verim ve verim unsurlarına etkisi üzerine bir araştırma. Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi, 217- 221, Samsun.

Hall, A.J., Feoli, C., Ingaramo, J. & Balzarini, M. (2013). Gaps between farmer and attainable yields across rainfed sunflower

- growing regions of Argentina. *Field Crops Research* **143**: 119-129.
- Ion, V., Dicu, G., Basa, A.G., Dumbrava, M., Temocico, G., Epure, L.I. & State, D. (2015). Sunflower yield and yield componenets under different sowing conditions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, **6**: 44- 51.
- Kandemir, N. (1991). Ayçiçeği çeşitlerinin verimi ve özellikleri üzerine sıra aralığının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Samsun.
- Kara, K. (1984). Erzurum ekolojik koşullarında bazı yağlık ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) çeşitlerinin fenolojik, morfolojik özellikleriyle verim ve verim öğeleri üzerinde bir araştırma. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Erzurum.
- Kara, K. (1991). Bazı yerli ve yabancı yağlık ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) çeşitlerini zirai karakterleri üzerine bir araştırma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, **22 (2)**: 62- 77.
- Katar, D., Bayramin, S., Kayaçetin, F. & Arslan, Y. (2012). Ankara ekolojik koşullarında farklı ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) çeşitlerinin verim performanslarının belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, **27 (3)**: 140- 143.
- Kaya, Y. (2013). Ayçiçeği: Türkiye'nin En Önemli Yağ Bitkisi. TÜRKTOB Türkiye.
- Kayahan, M. (2006). Yağlı tohumların satın alınması ve depolanması. Yağlı tohumlardan ham yağ üretim teknolojisi. Ankara, 29- 42.
- Kılıç, Y. (2010). Bazı hibrit ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) çeşitlerinin Trakya koşullarında verim ve verim unsurları üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Koç, H. ve Noyan, Ö.F. (1997). Tokat yöresinde azotlu ve fosforlu gübrelerin ayçiçeği'nde (*Helianthus annuus L.*) verim ve verim unsurları üzerine etkileri. Türkiye 2. Tarla Bitkileri Kongresi, 227- 230, Samsun.
- Kümeağaç, M. & Sağlam, C. (2005). Melez ayçiçeği çeşitlerinde genotip x çevre interaksyonu ile bazı verim ve verim unsurlarının stabilitesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, **2**: (2).
- Majidian, M., Ghavaland, A. & Majidian, N. (2007). Effect of plant population and nitrogen fertilizer on development stages, yield, yield components, oil and protein sunflower. *Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand. Cutting Edge Technologies and Innovations on Sustainable Resources for World Food Sufficiency*, pp: un paginated.
- Mızrak, F.F. (2006). Çukurova'da sulanamayan koşullarda ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) çeşitlerinin verim ve teknolojik özellikleri üzerinde bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Adana.
- Miralles, O.B., De Juan Valero, J.A. & De Santa Olalla, F.M. (1997). Growth, development and yield of five sunflower hybrids. *European Journal of Agronomy*, **6**: 47- 59.
- Nasim, W., Ahmad, A., Bano, A., Olatinwo, R., Usman, M., Khaliq, T., Wajid, A., Hammad, H.M., Mubeen, M. & Hussain, M. (2012). Effect of nitrogen on yield and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus L.*) hybrids under sub humid conditions of Pakistan. *American Journal of Plant Sciences*, **3**: 243- 251.
- Oral, E. & Kara, K. (1989). A trial of some oil sunflower varieties under the ecological conditions of Erzurum. *Doğa, Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, **13 (2)**: 342- 355.
- Pasin, V. (2000). Çukurova bölgesi kuru koşullarında ayçiçeğinde farklı ekim zamanlarının verim ve önemli bitkisel özelliklere etkisinin belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). 33s.
- Pilaslı, A. (2014). Trakya bölgesinde 2012 ve 2013 hasat dönemlerinde üretilen ayçiçeği tohumlarının bazı kimyasal özellikleri ile yağ asidi bileşimlerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Portela de Carvalho, C.G. (2014). Avaliação de cultivares de girassol no Brasil. XX Reuniao Nacional de Pesquisa de Girassol. VIII Simposio Nacional Sobre a Cultura do Girassol, Documentos **348**: 48- 51, Londrina, Parana, Brasil.
- Potter, T.D. & McLoud, P.L. (1985). Evaluation of sunflower cultivars in South Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **25 (3)**: 178- 182.
- Poyraz, O. (2012). Farklı olgunlaşma grubundaki hibrit ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) çeşitlerinin verim ve kaliteleri üzerine bitki sıklığının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Ribeiro, J.L., Riberio, V.Q., De Carvalho, C.G.P. & Gonçalves, S.L. (2015). Sunflower genotypes performance in East Savanna of Maranhao, Agricultural Year 2013/ 2014. XXI Reuniao Nacional de Pesquisa de Girassol, IX Simposio Nacional sobre a Cultura do Girassol Anais, Documentos: 363, 145- 148, Londrina, Parana, Brasil.
- Robinson, R. G. (1978). Sunflower Date of Planting and Chemical Composition at Various Growth Stages. *Agronomy Journal*, **62** p: 665- 667.
- Sadozai, G.U., Farhad, M., Khan, M.A., Khan, E.A., Niamatullah, M., Baloch, M.S., Khakwani, A.A. & Wasim, K. (2013). Effect of different phosphorous levels on growth, yield and quality of spring planted sunflower. *Pakistan Journal of Nutrition*, **12 (12)**: 1070- 1074.
- Sala, P.I.A.L., Montalvao, A.P.L., Amabile, R.F., Sayd, R.M., De Carvalho, C.G.P. & Fagioli, M. (2015). Temporal behavior of double cropped sunflower genotypes in the Brazilian Savannah of 2014 and 2015. XXI Reuniao Nacional de Pesquisa de Girassol, IX Simposio Nacional sobre a Cultura do Girassol Anais, Documentos: 363, 169- 171, Londrina, Parana, Brasil.
- Santos, Z.M.D. (2014). Características morfoagronômicas de genótipos de girassol (*Helianthus annuus L.*) no Norte Fluminense. *Cultivo De Girassol Em Diferentes Epocas No Norte Fluminense: Características Morfológicas, Produtivas E Teor De Oleo. Tese Doutor em Produção Vegetal, Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, Brasil.*
- Soil Survey Staff (1996). *Keys to Soil Taxonomy by Soil Survey Staff. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation. U.S.A. ISBN 0-16-048848-6. Pp: 326.*
- Soysal, M.İ. (1993). *Biyometrinin prensipleri. Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayın No: 95, Tekirdağ.*
- Tan, A.Ş. (2010). Ege bölgesi ayçiçeği araştırmaları projesi. 2010 yılı gelişme raporu. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Menemen İzmir.

- Turan, Z. M. & Göksoy, A. T. (1998). Yağ Bitkileri Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları No: 80. Bursa. S:225.
- Wolf, T.K. (1953). Production of field crops, Toronto London, Mc Graw Hill Company Inc.
- Yıldız, T. (2014). Farklı azot dozlarının ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) çeşitlerinde verim ve verim unsurları üzerine etkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Iğdır.
- Yılmaz, F.F. (2017). Entisol, İnceptisol, Vertisol Ordosu Topraklarında Yetiştirilen Farklı Ayçiçeği Tohumlarının Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve bitki Besleme Anabilim Dalı, s:156. Tekirdağ.
- Yılmaz, F.F. & Boyraz Erdem, D. 2020. Effects of different soil types and varieties on oil quality of sunflower in the Thrace region. La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse- Vol XCVII – pp: 51-59. Aprile/Giugno 2020.



A Benchmark Analytical Solution for Landslide Tsunamis

Baran Aydın^{1*}

^{1*} Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7838-3708), baydin@atu.edu.tr

(First received 18 February 2021 and in final form 3 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.882503)

ATIF/REFERENCE: Aydın, B. (2021). A Benchmark Analytical Solution for Landslide Tsunamis. *European Journal of Science and Technology*, (25), 697-701.

Abstract

An analytical solution is developed to model propagation of tsunami waves generated by underwater landslides. The proposed solution could particularly be used for validation of experimental and numerical models, since it allows imposition of block-type bottom profiles. Tsunami run-up, that is, time series of water elevations at the initial shoreline, and its maximum is calculated through the proposed analytical model. Effects of steepness of the bottom profile and slide length on the maximum run-up are also analyzed.

Keywords: Landslide, Tsunami, Analytical model, Maximum run-up, Benchmark solution.

Heyelan Sonucu Meydana Gelen Tsunamiler İçin Kıstas Bir Analitik Çözüm

Öz

Denizaltı heyelanları sonucu meydana gelen tsunami dalgalarının yayılımlarının modellenmesi için bir analitik çözüm geliştirilmiştir. Önerilen çözüm blok tipi taban profillerinin uygulanmasına imkân verdiği için özellikle deneysel ve sayısal modellerin doğrulanması için kullanılabilir. Tsunami tırmanması, yani kıyı çizgisindeki dalga yüksekliğinin zaman serisi ve maksimum tırmanma önerilen analitik model aracılığıyla hesaplanmıştır. Taban profilinin dikliğinin ve uzunluğunun maksimum tırmanma üzerindeki etkileri de ayrıca incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Tsunami, Analitik model, Maksimum tırmanma, Kıstas çözüm.

* Corresponding Author: baydin@atu.edu.tr

1. Introduction

Documentation of historical tsunami events indicate the role of landslides as a secondary mechanism after earthquakes (Gusiakov, 2009). Many laboratory-scale physical model studies are performed in order to understand the characteristics of landslide-generated ocean waves.

Laboratory studies of landslide-generated waves date back to more than half a century. Notable studies are performed by Bowering (1970), Das and Wiegel (1972) and Kamphuis and Bowering (1970), although none of them focused on parameters controlling the characteristics of waves in the near field.

Significant progress has been made recently in experimental work, following developments in computers, laboratory equipment and image processing techniques. Walder et al. (2003) predicted near-field amplitude, wavelength, and submerged travel time for landslides through block-type models. Trifunac et al. (2003) developed an analytical model for composite rectangular blocks moving horizontally and provided good near-field estimations for slides moving with long wave velocity.

Di Risio and Sammarco (2003) modeled transient waves by fall of a block into water vertically, and validated their experimental results with a linear analytical solution. Panizzo et al. (2005) carried out experimental work in order to define empirical formulations able to forecast the principal features of waves generated by subaerial landslides falling into three-dimensional reservoirs as a function of landslide parameters. They also utilized a rectangular block model in their experiments.

More recently, Heller and Spinneken (2013) used a rectangular block landslide model and investigated, for the first time in the literature, the role of the blockage ratio (i.e. ratio of the slide width to the channel width), the slide front angle and the slide transition type at the toe of the slope on the wave pattern.

Other notable experimental studies in the field are carried out by Watts (1998, 2000), Fritz et al. (2004), Watts et al. (2005), Lynett and Liu (2005), Di Risio et al. (2009), Fuchs et al. (2013), Heller and Spinneken (2015) and Romano et al. (2016).

The common feature of most experimental landslide models, including those listed above, is that they simulate the sliding mass as solid blocks. The widely used slide geometries are rectangular blocks (having vertical sides), trapezoidal blocks (usually with one inclined side) and wedges (having triangular cross-sections).

We therefore focused in this study on an analytical model that can be used as benchmark for either experimental or numerical landslide tsunami models employing block-type slide geometry. We developed a linear analytical solution based on the shallow-water wave theory and we investigated the role of certain slide parameters on the maximum run-up of tsunami waves generated by block-type displacement of sea bottom.

2. Material and Method

2.1. General Analytical Solution

The number of studies offering analytical solutions to subsequent modeling of landslide-generated tsunamis is limited, even in one horizontal dimension. This is due to the complexity of the problem, both from physical and mathematical points of view. The sliding mass at the sea bottom makes the water depth a

function of time, which, in turn, makes the continuity equation nonhomogeneous. Consequently, an initial value problem with a nonhomogeneous governing partial differential equation needs to be solved.

A remarkable contribution in the field is the analytical solution proposed long ago by Tuck and Hwang (1972). Incorporating the sliding sea floor as a small time-dependent perturbation on a uniform slope, they quantified propagation of the resulting waves through the linear shallow-water wave equations (LSWE) written in one space dimension.

Three decades later, Liu et al. (2003) revisited Tuck and Hwang (1972)'s analytical solution and presented results for bottom forcing having a small vertical thickness compared to its horizontal length. They elegantly defined a particular solution in terms of the bottom disturbance, which allows different functions to be imposed, although they provided results only for the so-called Gaussian bottom disturbance.

We follow Liu et al. (2003) here and simulate the prescribed time-dependent bottom perturbation sliding on a constant slope using the LSWE, they reformulated which as

$$\eta_{tt} - \frac{\tan \beta}{\mu} (x\eta_x)_x = h_{tt} \tag{1}$$

In this equation the unknown function is the free surface height $\eta(x, t)$. $h(x, t)$ is a given time-dependent bottom perturbation, while x and t are space and time variables, respectively (Figure 1). Also, β represents beach angle with the horizontal and μ stands for the slide mass ratio, i.e. the ratio of the vertical thickness (δ) to the horizontal length of the slide (L). We also note that eq.(1) remains valid for thin slides, i.e. $\mu \ll 1$.

Eq.(1) will be subjected to the following initial conditions:

$$\eta(x, 0) = 0, \quad \eta_t(x, 0) = h_t(x, 0)$$

which define an undisturbed initial sea state with zero initial fluid velocity.

Liu et al. (2003) suggested the replacement of the space variable (x) by

$$\xi = 2\sqrt{\mu x / (\tan \beta)}$$

so that the governing equation (1) can be converted into a Bessel-type equation:

$$\eta_{tt} - \frac{1}{\xi} (\xi \eta_\xi)_\xi = h_{tt} \tag{2}$$

Since eq.(2) is nonhomogeneous, its complete solution will have the structure $\eta(\xi, t) = \eta_h(\xi, t) + \eta_p(\xi, t)$; where η_h and η_p are the homogeneous and the particular solutions, respectively.

Moreover, Liu et al. (2003) managed to define the particular solution (η_p) in terms of the bottom perturbation (h) in the following way:

$$\eta_p(\xi, t) = \frac{1}{3} [h(\xi, t) - \xi h_\xi(\xi, t)] \tag{3}$$

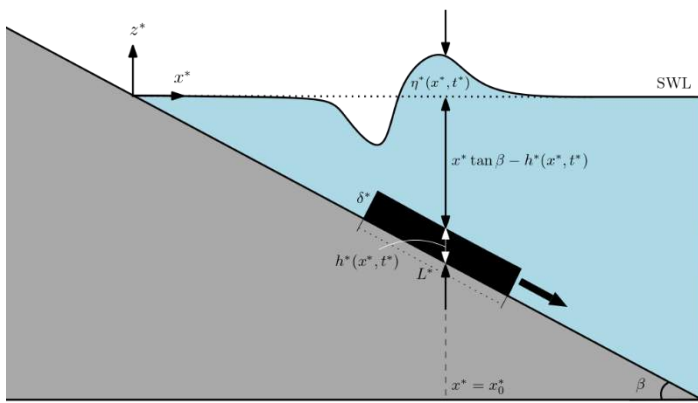


Figure 1. Definition sketch for the landslide problem. Not to scale.

The reader is referred to Liu et al. (2003) for the details of the solutions η_h and η_p . Eq.(3) is a very useful particular solution since it allows use of different bottom profiles, $h(\xi, t)$. Although Liu et al. (2003) presented results only for the so-called Gaussian-type sea floor deformation, $h(\xi, t) = \exp(-(\xi - t)^2)$, Aydın (2021) verified that eq.(3) becomes a particular solution of eq.(2) for any disturbance with the property $h(\xi, t) = F(\xi - a - t)$.

2.2. Rectangular-type bottom profiles

We now offer a new bottom perturbation

$$h_e(\xi, t) = \frac{\delta}{2} [\text{erf}(p(\xi - a - t)) - \text{erf}(p(\xi - a - L - t))] \quad (4)$$

which is defined through the error function

$$\text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-t^2) dt$$

The profile defined in eq.(4) occupies a length L in the horizontal and a height δ in the vertical. The parameter a is introduced so that the sliding mass can be located at any desired point on the slope, while the parameter p is used to be able to change the steepness of the profile. Since this profile displaces the sea bottom like a rectangular box (as seen in the top panels of Figure 2 and 3), a prototype usually used to represent sliding masses in laboratory-scale physical models, analytical model results from this profile can be used for benchmarking of experimental results in particular. To the best of author's knowledge, there is no such study aiming to provide an analytical solution for validation of physical models using block type bottom disturbances with a rectangular or trapezoidal cross sections.

In the next section we present and discuss run-up results obtained for the bottom disturbance defined in eq.(4).

3. Results and Discussion

We calculated run-up of subsequent waves triggered by the motion the sea bottom profile given in eq.(4). We varied the steepness (p) and the length (L) of the profile and investigated the relationship of the maximum tsunami run-up with these parameters. We performed calculations for a beach slope angle of $\beta = 5^\circ$, an initial slide submergence of $a = 5$ and a slide thickness of $\delta = 0.2$. We selected L in such a way that the slide aspect ratio $\mu = \delta/L$ is small and the linear theory is applicable.

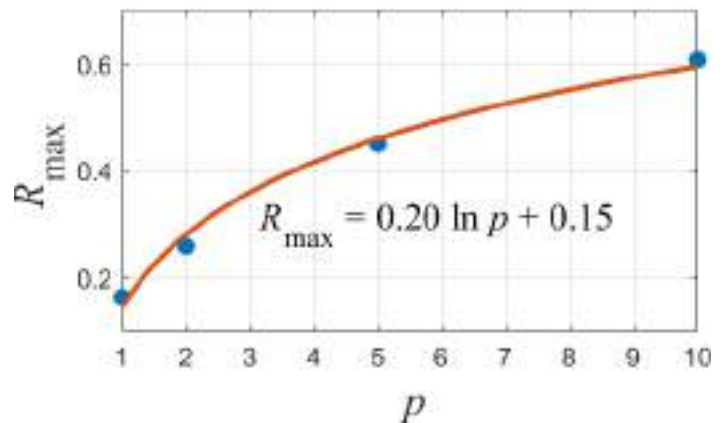
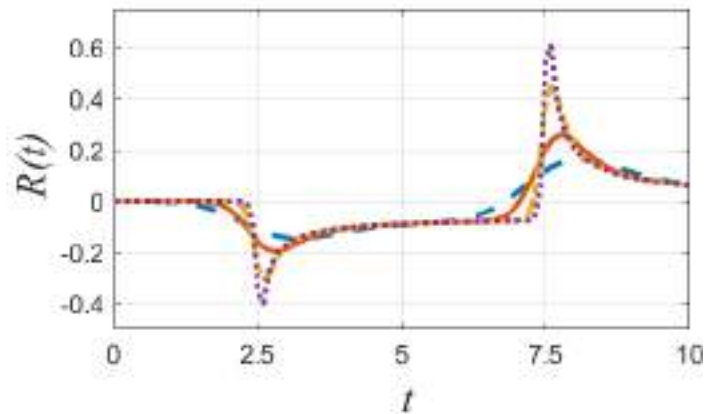
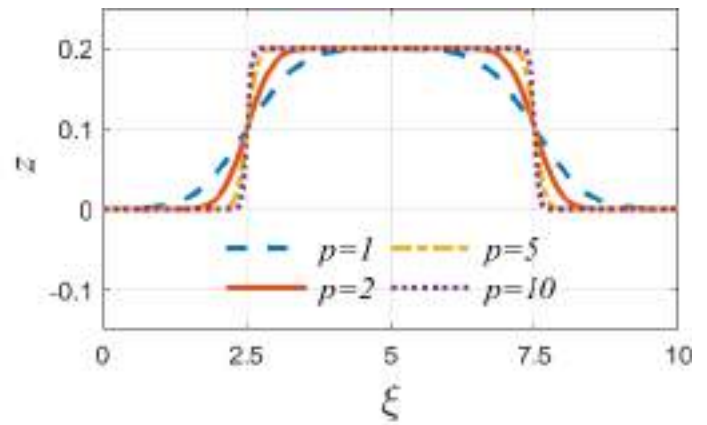


Figure 2. (top) The bottom disturbance defined in eq.(4) is plotted for $L=5$ and four different values of the steepness parameter (p). (middle) The variation of tsunami run-up with time is plotted for the selected values of p . (bottom) The functional relationship of the maximum tsunami run-up with the steepness parameter is demonstrated.

We first examined the effect of the steepness parameter p on the maximum run-up. For this purpose, we fixed the slide parameters other than p and plotted the run-up variation with time for $p = 1, 2, 5$ and 10 . The slide length is selected as $L = 5$, so that $\mu = 0.04$. As seen in the top panel of Figure 2, the bottom profile becomes steeper and resembles a rectangular block as p increases.

Increase in p also reflects as a significant change in the run-up $R(t) = \eta(x, t = 0)$, as seen in the middle panel, and its maximum over time, $R_{\max} = \max\{R(t)\}$, as seen in the bottom panel of Figure 2. A curve-fitting procedure is used in order to

reveal the relationship between R_{\max} and p . The data suggested a relation of the form

$$R_{\max} = A_1 \ln p + B_1$$

and the coefficients are found, with coefficient of determination $R^2 = 0.99$, as $A_1 = 0.20$ and $B_1 = 0.15$.

Further, in Figure 3, we changed the slide length from $L = 2$ to $L = 5$, so that $0.04 \leq \mu \leq 0.1$ (the top panel shows profiles with different lengths), and plotted time variation of the run-up for a slide steepness of $p = 5$. Increase in L reflects as an increase in the run-up $R(t)$, as seen in the middle panel. Moreover, a linear increase in the maximum run-up R_{\max} is observed (bottom panel). A curve-fitting procedure for a linear relationship

$$R_{\max} = A_2 L + B_2$$

yielded the values $A_2 = 0.03$ and $B_2 = 0.30$, with $R^2 = 0.99$, for the coefficients. We remark that dimensionless variables are used in the foregoing analysis.

4. Conclusions and Recommendations

We suggested a linear analytical model for propagation and run-up of landslide generated tsunami waves, which is particularly suitable for validation of experimental results, as it is able to simulate block-type bottom disturbances.

We calculated wave run-up and its maximum for two different parameter sets. Fixing the other slide parameters, the slide steepness is varied in the first set, while the slide length is changed in the second.

Results indicate a logarithmic relationship between the maximum run-up and the steepness parameter. Furthermore, there is a slight change in the instant when the maximum run-up is observed. This is to be expected, since the initial submergence and the length of the slide are the same and its steepness is varied only.

On the other hand, it is seen that the maximum run-up increases linearly with the slide length. Also, the time when run-up assumes its maximum changes significantly as the slide length is changed.

The proposed model apparently has certain limitations; dispersive effects and slide deformations are neglected. Also, nonlinear effects are assumed to be small, although it is shown to be an adequate assumption, for larger $(\tan \beta)/\mu$ in particular (Liu et al., 2003). In spite of these restrictions, the analytical model proposed here remains as a powerful tool for benchmarking of experimental and numerical studies. As Liu et al. (2003) comment, "... analytical solutions are invaluable in helping validate computational techniques and in establishing relevant dimensionless scales such as $(\tan \beta)/\mu$."

For future work, the results obtained from the analytical solution can be compared with experimental results. The effect of other landslide parameters on the maximum run-up can also be investigated.

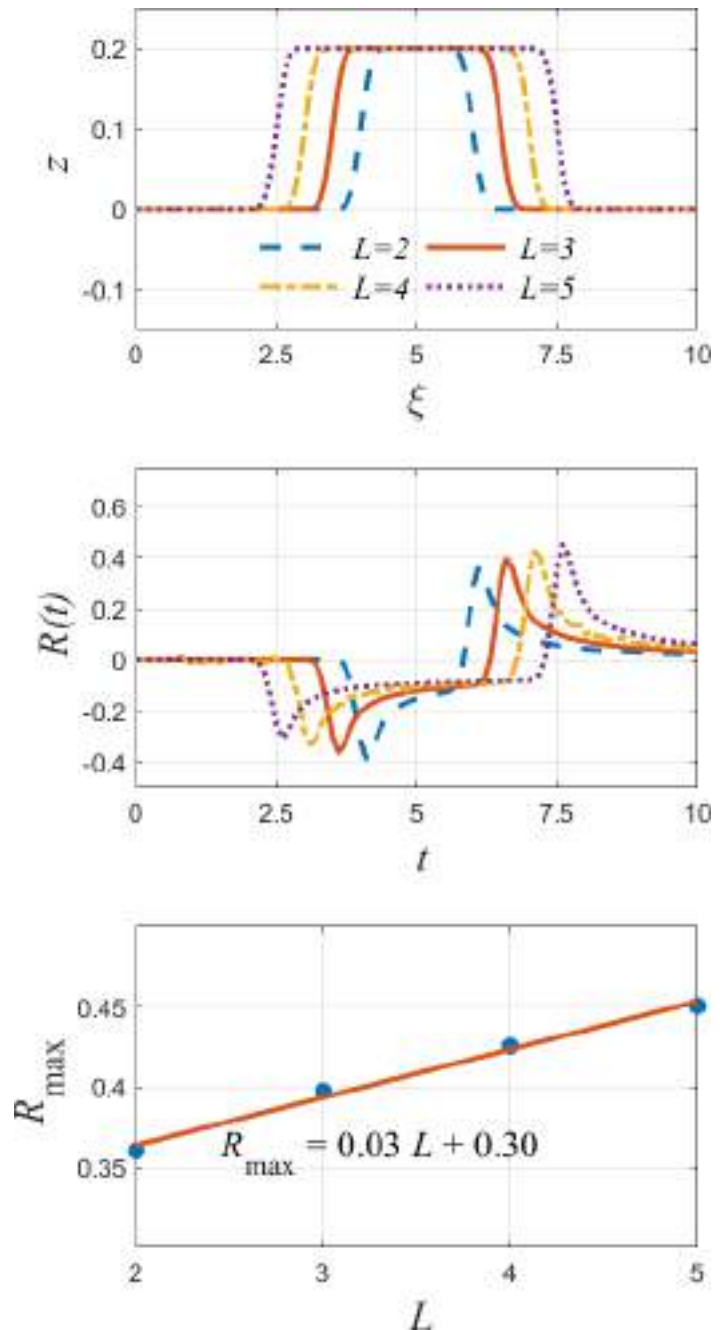


Figure 3. (top) The bottom disturbance defined in eq.(4) is plotted for $p=5$ and four different values of the slide length (L). (middle) The variation of tsunami run-up with time is plotted for the selected values of L . (bottom) The functional relationship of the maximum tsunami run-up with the slide length is demonstrated.

References

Aydın, B. (2021). An analytical study on tsunami run-up due to submarine landslides from different bottom profiles. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 21(2), 426-433.

Bowering, R. J. (1970). *Landslide generated waves: a laboratory study*. Master's thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.

- Das, M. M. and Wiegel, R. L. (1972). Waves generated by horizontal motion of a wall. *J. Waterw. Harbors Coastal Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 98, 49-65.
- Di Risio, M., Bellotti, G., Panizzo, A., and De Girolamo, P. (2009). Three-dimensional experiments on landslide generated waves at a sloping coast. *Coastal Engineering*, 134, 53-60.
- Di Risio, M. and Sammarco, P. (2003). Analytical modeling of landslide-generated waves. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 134, 53-60.
- Fritz, H. M., Hager, W. H., and Minor, H.-E. (2004). Near field characteristics of landslide generated impulse waves. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 130 (6), 287-302.
- Fuchs, H., Winz, E., and Hager, W. H. (2004). Underwater landslide characteristics from 2D laboratory modeling. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139(6), 480-488.
- Heller, V. and Spinneken, J. (2015). On the effect of the water body geometry on landslide tsunamis: Physical insight from laboratory tests and 2D to 3D wave parameter transformation. *Coastal Engineering*, 104(118), 113-134.
- Heller, V. and Spinneken, J. (2013). Improved landslide-tsunami prediction: Effects of block model parameters and slide model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 1489-1507.
- Kamphuis, J. W., and R. J. Bowering. (1970). Impulse waves generated by landslides, In *Proceedings of 11th Coastal Engineering Conference*, 575-588.
- Liu, P. L.-F., Lynett, P., and Synolakis, C. E. (2003). Analytical solutions for forced long waves on a sloping beach. *Journal of Fluid Mechanics*, 478, 101-109.
- Lynett, P. and Liu, P. L.-F. (2005). A numerical study of the run-up generated by three-dimensional landslides. *Journal of Geophysical Research*, 110, C03006.
- Panizzo, A., De Girolamo, P., and Petaccia, A. (2005). Forecasting impulse waves generated by subaerial landslides. *Journal of Geophysical Research*, 110, C12025.
- Romano, A., Di Risio, M., Bellotti, G., Molfetta, G., Damiani, L., and De Girolamo, P. (2016). Tsunamis generated by landslides at the coast of conical islands: Experimental benchmark dataset for mathematical model validation. *Landslides*, 13(6), 1379-1393.
- Trifunac, M. D., Hayir, A., and Todorovska, M. I. (2003). A note on tsunami caused by submarine slides and slumps spreading in one dimension with nonuniform displacement amplitudes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 223-234.
- Tuck, E. O. and Hwang, L. S. (1972). Long wave generation on a sloping beach. *Journal of Fluid Mechanics*, 51, 449-461.
- Walder, J. S., Watts, P., Sorensen, O. E., and Janssen, K. (2003). Tsunamis generated by subaerial mass flows. *Journal of Geophysical Research*, 108, No. B5, 2236.
- Watts, P. (1998). Wavemaker curves for tsunamis generated by underwater landslides. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 124, 127-137.
- Watts, P., Grill, S. T., Tappin, D. R., and Fryer, G. J. (1998). Tsunami generation by submarine mass failure II: Predictive equations and case studies. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 131(6), 298-310.



The Stability of a Modified Form of Reaction Diffusion Equation in Phase Plane

Esen Hanaç^{1*}

^{1*} Adiyaman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Adiyaman, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5561-7495), ehanac@adiyaman.edu.tr

(First received 19 April 2021 and in final form 24 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.920615)

ATIF/REFERENCE: Esen Hanaç. (2021). The Stability of a Modified Form of Reaction Diffusion Equation in Phase Plane. *European Journal of Science and Technology*, (21). 702-706.

Abstract

We examine the dynamics of nonlinear system related in the following equation namely,

$$u_t + uu_x = u_{xx} - (1 - u^2),$$

where $x \neq 0$, represents distance, t represents time. As a beginning we start to get ordinary differential equation form of above equation after substituting of a new transformation into it. Then dynamical system of ordinary differential equation form is indicated depend on selected variables. According to the critical points of the dynamical system of ordinary differential equation form, the structures of the eigenvalues of them are identified. We attempt to find a heteroclinic connection from unstable node to stable node in parallel with travelling wave solutions for the minimum wave speed and the structure of the other travelling wave solutions to be identified. Furthermore, by applying a matlab implementation of ode45 package the ordinary differential equation form is numerically solved in phase plane and applying parabolic method to compare analytic and numeric results.

Keywords: Phase plane analysis, stable node, unstable node.

Modife Formdaki Reaksiyon Difüzyon Denkleminin Faz Diyagramındaki Kararlılığı

Öz

Aşağıdaki denklem

$$u_t + uu_x = u_{xx} - (1 - u^2),$$

$x \neq 0$, uzaklığı ve t zamanı niteleyen, nonlinear dinamik sistemi içerisinde incelenmiştir. Başlangıç olarak yukarıdaki denleme yeni dönüşüm uygulanarak kısmi differansiyel formu elde edildi. Sonra oluşturulan denklemin seçilmiş değerlerine bağlı kalınarak kısmi differansiyel denklemin dinamik sistemi tanımlandı. Oluşturan kısmi differansiyel formdaki denklemin dinamik sisteminin kritik noktalarına bağlı kalınarak, sistemin özdeşlerinin yapısı tanımlandı. Amacımız unstable node dan stale node a doğru bir heteroclinic yapı tanımlamak ve buna bağlı olarak dalgalanma hareketleri için gereken en küçük dalga hızını tanımlayıp başka dalgalanma hareketleri oluşumu varsa yapılarını belirlemek. Son olarak yapılan uygulamalara ek olarak matlab ode45 paketi kısmi differansiyel formdaki denleme uygulanarak faz diyagramında numerik çözümü elde edilmiştir ve parabolic method uygulanarak elde edilen numerik çözümlerle analitik çözüm karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Faz diyagram analizi, stable node, unstable node.

* Corresponding Author: ehanac@adiyaman.edu.tr

1. Introduction

It is well known that obtaining analytical solutions of nonlinear partial differential equations has a significant role to define physical phenomena which are rising in several areas such as physics, biology, chemistry and engineering. Many different methods have been applied to determine the analytical wave solutions to nonlinear equations for many years. Numerous nonlinear equations have an extensive area of applications in fluid mechanics, chemical and plasma physics and so on. One of those equations is the generalized Burgers-Fisher equation,

$$u_t + \delta u^n u_x = \varepsilon u_{xx} + \vartheta u(1 - u^n) \quad (1)$$

where $\delta, \varepsilon, \vartheta$ in real number and $n > 0$ is constant. Some analytic accurate travelling wave solutions of the equation (1) have been demonstrated by applying different methods. When δ is counted as 0 the equation (1) is reduced to the Fisher-KPP equation which has been studied by many authors. When ϑ is counted as 0 the equation (1) is reduced to the generalized Burgers equation. Many scientists in different area have given an enormous effort to the generalized Burgers equation to find the exact travelling wave solutions of it through the years due to its value in science. Despite of the methods used in those equations to solve travelling wave solutions of them the dynamical attitude of the ordinary differential equation forms of the equation (1) or reduced forms of (1) have not been taken as consideration. In this paper, the dynamic system of a modified form of the equation (1) given as

$$u_t + uu_x = u_{xx} - (1 - u^2),$$

where $x \neq 0$, represents distance, t represents time, has been considered.

2. Dynamic System

In this section we consider the equation in the following namely

$$u_t + uu_x = u_{xx} - (1 - u^2), \quad (2)$$

and substituting the new coordinate $U(z) = x - ct$, where c is a wave speed, into the equation (2), we obtain the ode form of the equation (2),

$$-cU' + UU' = U'' - (1 - U^2). \quad (3)$$

Letting $U' = B$ then we get the dynamic system of the equation (3) that

$$U' = B$$

$$B' = -cB + UB + (1 - U^2). \quad (4)$$

The dynamic system (4) has two fix points those are $(1,0)$ and $(-1,0)$. Firstly we indicate the jacobian matrix of the system (4)

$$J(U, B) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ B - 2U & U - c \end{bmatrix}.$$

According to the Linearization Theorem we sort out the structure of the fix points. If the eigenvalues of the fix point are both less than 0 then the structure of the fix point will be named stable node. If the eigenvalues of the fix point are both positive then the structure of the fix point will be named unstable node. If the eigenvalues of the fix point have different signs then the structure of the fix point will be named saddle point. We now consider the point $(1,0)$ then we have the jacobian matrix the point $(1,0)$ just like that

$$J(1,0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & 1 - c \end{bmatrix}$$

Eigenvalues of the matrix $J(1,0)$ are given

$$\alpha_{\pm} = \frac{(1 - c) \pm \sqrt{(1 - c)^2 - 8}}{2},$$

when $(1 - c) \geq \pm 2\sqrt{2}$ that gives $c \geq 1 + 2\sqrt{2}$ and $c \leq 1 - 2\sqrt{2}$. So the behavior of the point $(1,0)$ is unstable node when $c \leq 1 - 2\sqrt{2}$ and the behavior of the point $(1,0)$ is stable when $c \geq 1 + 2\sqrt{2}$. Secondly, we consider the point $(-1,0)$ then we have that

$$J(-1,0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & -1 - c \end{bmatrix}.$$

Eigenvalues of the matrix $J(-1,0)$ are given

$$g_{\pm} = \frac{(1 + c) \pm \sqrt{(1 + c)^2 + 8}}{2},$$

and $g_+ > 0 > g_-$ the point $(-1,0)$ is saddle node. We finally define the structure of the equilibrium points $(1,0)$ and $(-1,0)$ by using linearization theorem. We further note that from unstable point to saddle point there is a heteroclinic connection between them.

2.1.1. Phase portrait of equilibrium points

In this subsection we demonstrate the phase portraits of the equilibrium points of dynamic system (4) individually by applying matlab generated implementation. We exhibit phase portraits in Figure 1, 2 and 3 for various values of c .

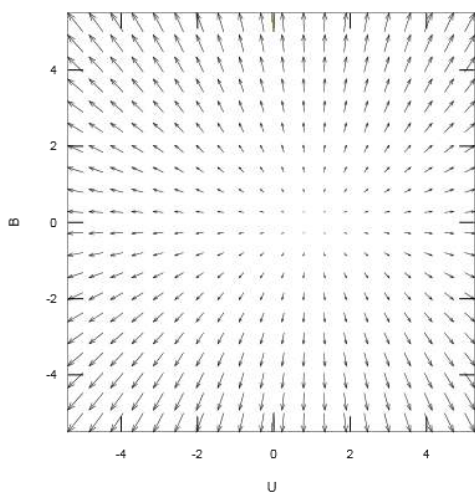


Figure 1: Phase portrait of (U, B) in the locality of the equilibrium point $(1,0)$ when $c \leq 1 - 2\sqrt{2}$. It is clear to observe all arrows diverge from the equilibrium point.

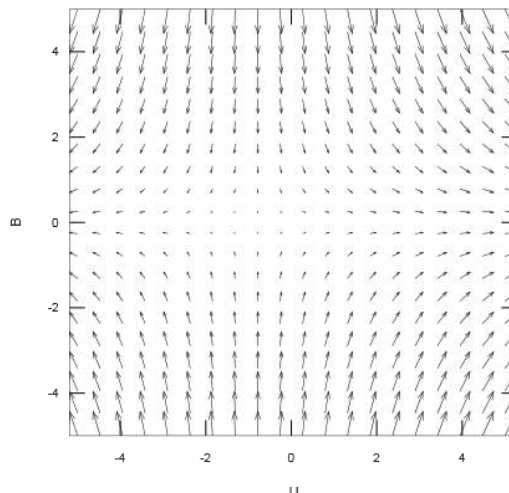


Figure 3: Phase portrait of (U, B) in the locality of the equilibrium point $(-1,0)$ for all value of c . It is clear the graph establishes saddle node.

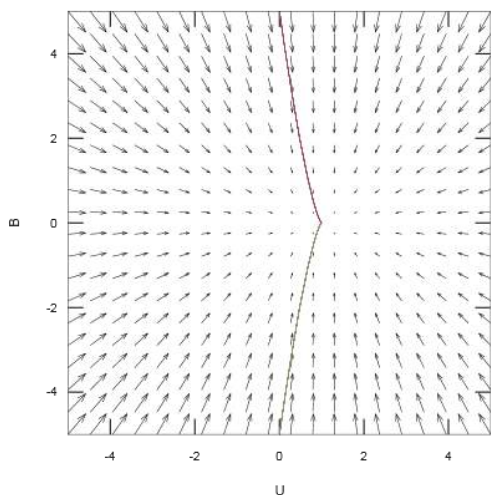


Figure 2: Phase portrait of (U, B) in the locality of the equilibrium point $(1,0)$ when $c \geq 1 + 2\sqrt{2}$. It is clear to observe all arrows approach to the equilibrium point with red solid line

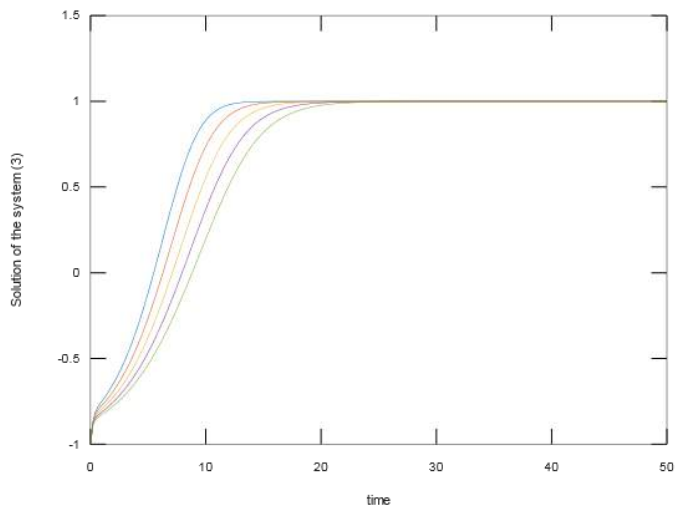


Figure 4: Trajectories of the system (4) for dissimilar value of $c \geq 1 + 2\sqrt{2}$. Each paths symbolise the trajectory for variety of speed c like, 4, 4.5, 5, 5.5, and 6 respectively.

In Figure 4, trajectories of the system (4) are featured in the phase space portrait for a variety of $c \geq 1 + 2\sqrt{2}$ in times by using matlab ode45 package implementation. We notice from the Figure 4 that while $c \geq 1 + 2\sqrt{2}$ all paths in the phase space connecting from $(-1,0)$ to $(1,0)$ as time t in $[0,50]$. Additionally, we consider exact solution of the equation (2) when $c = 1 + 2\sqrt{2}$ and after some minor calculations equation (2) reduces to Bernoulli's equation namely

$$U' = -cU + \frac{U^2}{2}. \tag{5}$$

We obtain the solution of equation (5) is given by

$$U(z) = 1 - \frac{2}{1 + Ae^{-(1+2\sqrt{2})z}}$$

$$U(z) \sim \begin{cases} \sim 1 - \frac{1}{A} e^{(1+2\sqrt{2})z} & z \rightarrow -\infty, \\ \sim Ae^{-(1+2\sqrt{2})z} - 1 & z \rightarrow \infty, \end{cases} \tag{6}$$

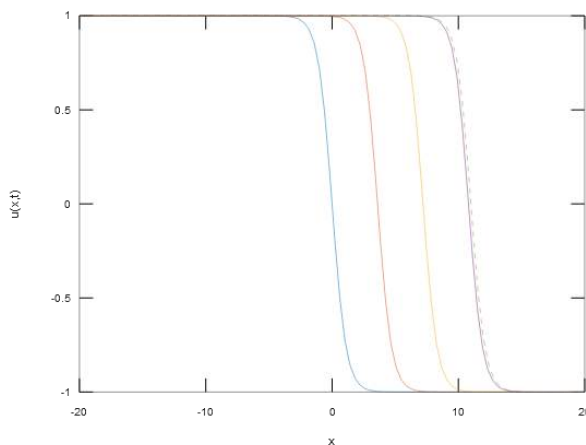
where A is constant. Therefore we observe $U(z) \rightarrow 1$ while $z \rightarrow -\infty$ and $U(z) \rightarrow -1$ while $z \rightarrow \infty$. The results of the system (6) are the key for supporting heteroclinic orbit connects from the saddle point $(-1,0)$ to the point $(1,0)$ when $c \geq 1 + 2\sqrt{2}$. Heteroclinic orbit represents to waves. Thence, it supports that the equation (2) in examined phase plane displays soliton solutions, namely sS.

3. Numerical Simulations

In this section we compare exact solution (6) with the numerical solutions of the equation (2). In order to obtain the numeric results of the equation (2) we use a numeric formul namely, parabolic method for the details of the numeric method the references (Griffiths and Schiesser, 2009; Griffiths and Schiesser, 2010; Landejuela, 2011) is referred to read for who is interested in. After some calculations we have modified form of equation like,

$$U_j^{n+1} = U_j^n + \Delta t \left(\frac{U_{j+1}^n - 2U_j^n + U_{j-1}^n}{\Delta x^2} \right) + \frac{U_{j-\frac{1}{2}}^n - U_{j+\frac{1}{2}}^n}{\Delta x} + M_j^n(x) - 1 = 0$$

where $M_j^n(x)$ refers to as $u^2(x)$. We represent the numerical solution of the equation (1) with chosing NN grid point equals to 200, $\Delta t = .5$ and the exact solution (6) which is obtained in the subsection 2.1.1 in the case when $c = 1 + 2\sqrt{2}$. In Figure 5 the sS of the equation(2) with wave speed $c = 1 + 2\sqrt{2}$ is observed to grow quickly as $t \rightarrow \infty$ and the green dashed line is represented by the exact solution and the overlap one that purple line is represented by the numeric result, affirms that time dependant solution gets close to the exact solution moderately quick. We also present the numerical solution of the equation (2) with chosing NN grid point equals to 200, $\Delta t = .5$ and the exact solution (6) which is obtained in the subsection 2.1.1 in the case when $c = 1 - 2\sqrt{2}$. The sketch in Figure 7 is withdrawing sS for the equation (1). Moreover Figure 7 exposes intently good agreement between exact solution in green dashed line and numeric result in purple line at $t=6$.



Figure

5: Graph of exact solution (green dashed line) and the numerical solutions of the equation (2) at times $t = 0, 2, 4, 6$.

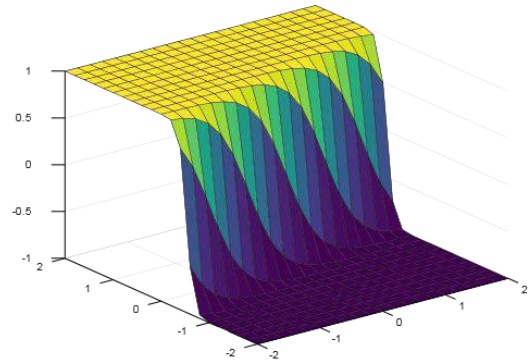


Figure 6: Soliton solutions of the equation (2) while wave speed $c = 1 + 2\sqrt{2}$.

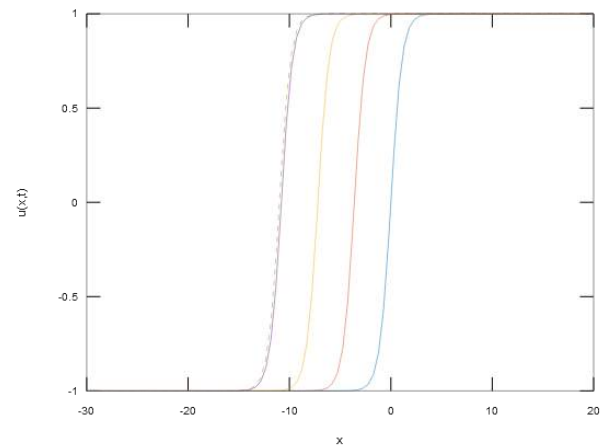


Figure 7: Graph of exact solution (green dashed line) and the numerical solutions of the equation (2) at times $t = 0, 2, 4, 6$.

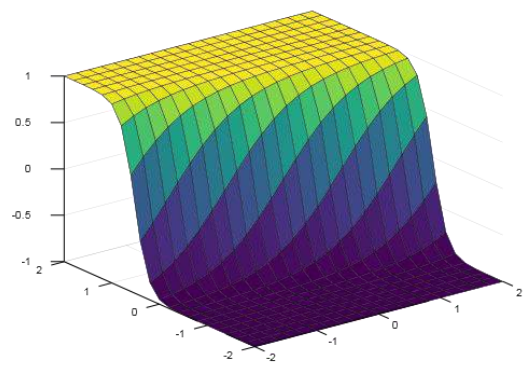


Figure 8: Regressive Soliton solutions of the equation (2) while wave speed $c = 1 - 2\sqrt{2}$.

Results in Figure 6 and Figure 8 verify the solutions as sS and regressive sS same in Figures 5 and 7.

4. Conclusion

In this paper, we conceive the modified form equation (2) in dynamic theory. We peruse the dynamic behaviour of soliton solutions of the equation (2) applying linearizatoin theorem. We

attain phase profiles and indicate heteroclinic orbit occurrence which provides soliton solutions. Lastly, we apply parabolic method to get numerical solutions of the equation (2) and compare with exact solution in same distance x with time intervals for wave speed $c = 1 + 2\sqrt{2}$, $c = 1 - 2\sqrt{2}$ respectively. The modified form equation has various impressive properties. The modified form mathematical model has soliton solutions for $c = 1 + 2\sqrt{2}$. Mathematical model of the modified form ensures a simple physical version, which is named as regressive soliton solutions, for an exact solution with $c = 1 - 2\sqrt{2}$, despite the travelling wave solutions with $c < 2$ on the pretense of unphysical (Canosa, 1973; Edelstein-Keshet, 2005; Fisher, 1937; Kolmogorov et al, 1937; Kot, 2003; Murray, 2002).

References

- Behzadi, S.S and Araghi, M.A.F., (2011). Numerical Solution for Solving Burgers-Fisher Equation by Using Iterative Methods. *Mathematical and Computational Applications* 16, 443-455. <https://doi.org/10.3390/mca16020443>
- Bramson, M.D., (1983). Convergence of solutions of the Kolmogorov equation to travelling waves. *Mem. Amer. Math. Soc.* 44
- Burgers, J.M., (1939). Mathematical examples illustrating relations occurring in the theory of turbulent fluid motion. *Verh. Nederl. Akad. Wetensch. Afd. Natuurk.* 17, 1-53.
- Burgers, J.M., (1940). Application of a model system to illustrate some points of the statistical theory of free turbulence. *Proc. Kon. Nederl. Akad. Wetensch.* 43, 2-12.
- Burgers, J.M., (1975). *The Nonlinear Diffusion Equation*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Canosa, J., (1973). On a nonlinear diffusion equation describing population growth. *IBM Journal of Research and Development*. 17 307-313. <https://doi.org/10.1147/rd.174.0307>
- Edelstein-Keshet, L., (2005). *Mathematical Models in Biology*. SIAM, Philadelphia. <https://doi.org/10.1137/1.9780898719147>
- Fisher, R.A., (1937). The wave of advance of advantageous genes. *Annals of Eugenics*. 7 355-369. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1937.tb02153.x>
- Griffiths, G., Schiesser, W. E., (2009). *A Compendium of Partial Differential Equation Models*. Cambridge University Press doi:10.1017/CBO9780511576270
- Griffiths, G., Schiesser, W. E., (2010). *Travelling Wave Analysis of Partial Differential Equations*. Academic Press. ISBN: 978-0-12-384652-5
- Kolmogorov, AN, Petrovskii, PG, Piskunov, NS. (1937). A study of the diffusion equation with increase in the amount of substance, and its application to a biological problem. *Moscow University Mathematics Bulletin*. 1 1-26.
- Kot, M., (2003). *Elements of Mathematical Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511608520>
- Landejuela, M., (2011). Burgers Equation. BCAM Internship report: Basque Center for Applied Mathematics.
- McKean, H.P., (1975). Application of Brownian motion to the equation of Kolmogorov-Petrovskii-Piskunov. *Comm. Pure Appl. Math.* 28, 323-331.

- Murray, J.D. (2002). *Mathematical Biology I: An Introduction*. Third edition, Springer, New York.
- Van Saarloos, W., (2003). Front propagation into unstable states. *Phys. Rep.* 386, 29-222.



Evaluation of Stress and Nutrition Status of University Students During the Covid-19 Outbreak

Irem Ozay-Arancioglu¹, Hatice Kubra Yilmaz², Berrak Basturk^{3*}, Kubra Derya-Ipek⁴, Cigdem Yildirim-Mavis⁵, Sumeyye Bora⁶

Halic University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: [0000-0002-9614-6068](https://orcid.org/0000-0002-9614-6068)), iremozay@gmail.com

¹² Halic University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7750-6024), dytkubrayilmaz@hotmail.com

³ Halic University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6817-3141), dyt.erguden@gmail.com

⁴ Halic University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: [0000-0002-1037-4095](https://orcid.org/0000-0002-1037-4095)), kubraderya@halic.edu.tr

⁵ Halic University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: [0000-0002-5442-5851](https://orcid.org/0000-0002-5442-5851)), cymavis85@gmail.com

⁶ Halic University, Faculty of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5807-4788), sumeyyebora@halic.edu.tr

(First received 06 February 2021 and in final form 3 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.875539)

ATIF/REFERENCE: Ozay-Arancioglu, I., Yilmaz, H.K., Basturk, B., Derya-Ipek, K., Yildirim-Mavis, C. & Bora, S. (2021). Evaluation of Stress and Nutrition Status of University Students During the Covid-19 Outbreak. *European Journal of Science and Technology*, (25), 707-714.

Abstract

COVID-19 is a disease that spreads rapidly by being transmitted from person to person by droplet infection and is defined as a pandemic by the World Health Organization. Social isolation, compliance with hygiene rules, adequate and balanced nutrition are of great importance in this period. Our study aimed to investigate the impact of the COVID-19 epidemic on the stress experienced by Halic University students and their eating habits and lifestyle changes. Data collection was carried out through a structured questionnaire created in Google Forms (online). In addition, the stress level was determined using the "Perceived Stress Scale". Change in physical activity level, change in dietary habits, and change in desire to eat out were significantly correlated with perceived stress level ($p=0.007$; $p=0.02$; $p=0.003$, respectively). But it was not found to be associated with BMI ($p=0.02$). During quarantine, we must encourage healthy eating and physical activity at home. The number of studies examining the adaptation of university students, who have an important role in the development of society both in the world and in our country, to epidemic conditions is limited. Therefore, this study will contribute to the literature.

Keywords: Covid-19, Eating habits, Lifestyle changes, Physical activity, Quarantine, Stress.

Üniversite Öğrencilerinin Covid-19 Salgını Sırasında Stres ve Beslenme Durumlarının Değerlendirilmesi

Öz

COVID-19 damlacık enfeksiyonu ile insandan insana bulaşarak hızla yayılan ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi olarak tanımlanan bir hastalıktır. Bu dönemde sosyal izolasyon, hijyen kurallarına uyum, yeterli ve dengeli beslenme büyük önem taşır. Çalışmamız, Halic Üniversitesi öğrencilerinin yaşadıkları stres, beslenme alışkanlıkları ve yaşam tarzı değişiklikleri üzerinde COVID-19 salgınının etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Veri toplama, Google Formlar'da (çevrimiçi) oluşturulan bir anket aracılığıyla gerçekleştirildi. Ayrıca "Algılanan Stres Ölçeği" kullanılarak stres düzeyi belirlendi. Fiziksel aktivite düzeyindeki değişiklik, beslenme alışkanlıklarındaki değişiklik ve dışarıda yemek yeme isteğindeki değişiklik, algılanan stres düzeyi ile anlamlı düzeyde ilişkilidi (sırasıyla, $p=0,007$; $p=0,02$; $p=0,003$). Ancak BKİ ile ilişkili bulunmadı ($p=0,02$). Karantina sırasında evde sağlıklı beslenme ve fiziksel aktiviteyi teşvik edilmelidir. Hem dünyada hem de ülkemizde toplumun gelişmesinde önemli rolü olan üniversite öğrencilerinin salgın koşullara uyumunu inceleyen araştırma sayısı sınırlıdır. Bu nedenle bu çalışma literatüre katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Covid-19, Yeme alışkanlıkları, Yaşam tarzı değişiklikleri, Fiziksel aktivite, Karantina, Stres.

1. Introduction

The first human cases of Coronavirus Diseases (COVID-19) were identified in early December 2019. Several cases of pneumonia of unknown aetiology was reported from Wuhan City in Hubei Province of China. The disease, initially called novel coronavirus disease, was later renamed by the World Health Organization (WHO) as COVID-19 (Harapan *et al.*, 2020). Due to the rapid spread of the virus across the globe, and subsequently escalating number of confirmed cases and deaths, the WHO declared the COVID-19 outbreak as a global public health emergency of international concern on January 30, 2020. COVID-19 is spread by human-to-human transmission through droplet, feco-oral, and direct contact and has an incubation period of 2-14 days. To date, no antiviral treatment or vaccine has been explicitly recommended for COVID-19. The on-going COVID-19 epidemic in China is causing major panic and public concerns (Chen *et al.*, 2020). The pandemic outbreak of the COVID-19 with the beginnings of 2020 started to poses a serious threat to global health due to the high fatality rate, besides its wide-scale ramifications on socio-economic and psycho-emotional aspects of people's life. In many countries, drastic changes and stressful conditions have been developed over the progression of the COVID-19 disease, like imposing lockdown, school closures, quarantine, travel restrictions, social distancing, and fast-deteriorating business environment (Buheji *et al.*, 2020). Due to the rapidly spreading coronavirus epidemic, health authorities have advised people to limit their exposure to the virus and reduce travel and staying at home (Chen *et al.*, 2020). This is the first time that a quarantine to control a pandemic has been implemented in most countries worldwide. Therefore, there is a lack of conclusive studies providing data on how this measure can affect children and adolescents. Regarding the specific psychological consequences of COVID-19 and the measures to cope with them, few studies have been published (Orgilés *et al.*, 2020). The continuous spread of the epidemic, strict isolation measures and delays in starting schools, colleges, and uni-versities across the country is expected to influence the mental health of college students. However, the closure of schools and confinement to home has multiple impacts on children in terms of education, social isolation, well-being and child protection (Crawley *et al.*, 2020). If children and adolescents seem relatively protected from COVID-19 infection, their health is affected by prolonged lockdown that may, in itself, trigger risks to the health and well-being of young people (Derbyshire and Delange, 2020). Nutrition, one of the main determinants of health, is a part of the treatment regimen for acute and chronic diseases. Obesity, a risk factor of mortality in COVID-19, suggests the importance of nutrition. Among many factors, diet differs considerably between these low- or high-mortality countries. Nutrition may play a role in the immune defense against COVID-19 and may explain some of the differences seen in COVID-19 across Europe. It will be needed to test dietary differences between low and high-rate countries (Bousquet *et al.*, 2020). The quarantine period applied to control SARS-CoV-2 (COVID-19) virus has caused negative changes in individuals' lifestyles: decreased physical activity, sleep disturbance, malnutrition, anxiety and stres (Gualano *et al.*, 2020). Quarantine-based action plans created a situation where people were in the same place for extended stays and encouraged sedentary behavior, such as exposure to screens. Decreases in physical activity lead to functional and structural deterioration of the organism, leading to a deterioration in metabolic and

e-ISSN: 2148-2683

cardiovascular parameters, a decrease in muscle mass in body composition and an increase in mass fat (Reyes-Olavarría *et al.*, 2020). In Turkey, the pandemic has started later than in other countries but were taken early preventive measures. After the first COVID-19 patients were reported in Turkey, one of the most important measures taken by the Higher Education the Institution is to decide to close by the end of the spring semester of university. University students had to deal with stress due to the unpredictable course of COVID-19 and their limited social life away from friends (Aslan and Pekince, 2020). The aim of the present study was designed to understand university students' the changes in the relationship between perceived stress level and demographic features, screen time, sleep status, physical activity level, dietary habits that are major determinants of health during the COVID-19 outbreak.

2. Material and Method

2.1. Study Design and Participants

The study was conducted with 17-20 year old Haliç University students between June 15 and July 15, 2020. Not being a student at Haliç University and not being in the age range of 17-20 were determined as exclusion criteria in sample selection.

2.2. Questionnaire

Data collection was carried out through a structured questionnaire created in Google Forms (online). The study consisted of a structured questionnaire package that inquired about demographic information (age, gender, parental education status); anthropometric data (weight and height reported before and after the pandemic); knowledge of nutritional habits (daily intake of certain foods, meal frequency and number of meals); knowledge of lifestyle habits (sleep quality, physical activity before and after the pandemic etc.). The frequency of consumption of each product was evaluated using different defined categorical variables. In addition, stress level was determined by the "Perceived Stress Scale" developed by Cohen, Kamarck and Mermelstein in 1983. It is a five-point Likert-type scale consisting of 14 items aimed at evaluating the stressful situations experienced by individuals in the last month. High scores from the scale indicate the high level of stress of the individual. Scoring; In items 1,2, 3,8, 11, 12, "Never" option is "0" point, "Almost Never" option is "1" point, "Sometimes" option is "2 points" "Quite Often" option is "3". The score is evaluated with "Very often" option and "4" points. Since the items no.4, 5, 6, 7, 9, 10, 13 are in opposite directions, the "Never" option is "4" points, the "Almost Never" option is "3". "Sometimes" option is evaluated with "2 points" "Quite Often" option with "1" point, "Very often" option with "0" points. The higher the scores, the higher the perceived stress (Eskin *et al.*, 2013).

2.3. Ethics

Participants gave voluntary informed consent to participate in the study. The study protocol was approved by the Haliç University Ethics Committee. (Approval date and number: 26.06.2020/114)

2.4. Statistical Analysis

Statistical Package for Social Science (SPSS) version 21.0 for Windows software (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) was used for

all statistical analyses. p -values <0.05 were considered statistically significant.

3. Results and Discussion

3.1. Results

Twenty-nine of the participants were the preparatory class students, 668 of the participants were first-year nutrition and dietetics students, 644 of the participants were second-year nutrition and dietetics students, and 272 participants were third-year nutrition and dietetics students, and 61 of the participants were fourth-year nutrition and dietetics students.

There were significant differences in time spent at the computer, time spent on the television and sleep time before and after COVID-19 (respectively, $p=0.001$, $p=0.001$ and $p=0.001$). The percentage of participants reported that their physical activity level changed during COVID-19. The physical activity level of 67.5% of the participants increased while the other stated that their physical activity level increased. Besides, 77.5% of the participants reported that their dietary habits changed during COVID-19. The frequency of snacks changed in 53.3%, and the frequency of main meals in 46.7% of the participants. In addition, the desire to eat from outside decreased in 71.1% of the participants. According to Table 3, there is an increase in daily consumption of dairy products such as milk, yoghurt and cheese. The relationship between perceived stress level and demographic features, screen time, sleep status, physical activity level, and dietary habits are shown in Table 4. There was a significant relationship between perceived stress level and sex ($\rho=0.09$, $p=0.001$). Participation in physical activity was correlated with perceived stress level ($\rho=-0.05$, $p=0.02$). No correlation was found between the time spent on computer and television and the stress level. On the other hand, sleep time after COVID-19 was related to perceived stress level ($\rho=-0.06$, $p=0.01$), while sleep time before Covid-19 was not significantly correlated with perceived stress level ($\rho=-0.03$, $p=0.19$). Change in physical activity level, change in dietary habits, and change in desire to eat out were significantly correlated with perceived stress level ($\rho=0.06$, $p=0.007$; $\rho=0.05$, $p=0.02$; $\rho=-0.07$, $p=0.003$, respectively).

Table 1. Sociodemographic Data of Participants (n=1674)

Parameters	Mean±SD
Age, years	19.73±1.15
Sex, n (%)	
Female	1186 (70.8%)
Male	488 (29.2%)
Height, cm	168.92±8.68
Weight, kg	
Before COVID-19	63.16±12.86
After COVID-19	63.98±13.20
Body mass index, kg/m²	
Before COVID-19	22.02±3.42
After COVID-19	22.29±3.47
Undergraduate class	
Preparatory class	29 (1.7%)
1 st class	668 (39.9%)
2 nd class	644 (38.5%)
3 rd class	272 (16.2%)
4 th class	61 (3.6%)
Living with another person	
Family	1471 (87.9%)
Friend	69 (4.1%)
Alone	63 (3.8%)
Relative	37 (2.2%)
Roommate	34 (2.0%)
Mother's level of education	
Illiterate	59 (3.5%)
Literate	57 (3.4%)
Primary school	409 (24.4%)
Secondary school	309 (18.5%)
High school	572 (34.2%)
University	268 (16%)
Father's level of education	
Illiterate	10 (0.6%)
Literate	47 (2.8%)
Primary school	272 (16.2%)
Secondary school	328 (19.6%)
High school	644 (38.5%)
University	373 (22.3%)
Change of place due to COVID-19, n (%)	
Yes	482 (28.8%)
No	1192 (71.2%)
Smoking status, n (%)	
Current smokers	482 (28.2%)
Former smokers	91 (5.4%)
Never smokers	1101 (65.8%)

*Data are expressed as number (percentage of the total number) and mean±standard deviation.

Table 2. The Change in Screen Time, Sleep Status, Physical Activity Level and Dietary Habits During COVID-19 (n=1674)

Parameters	Mean±SD	Mean difference [95% CI]	p*
Time spent at the computer, hours Before COVID19 After COVID -19	2.11±2.01 4.31±2.77	2.20±2.22 [2.09-2.31]	0.001
Time spent on the television, hours Before COVID -19 After COVID -19	1.30±1.47 2.52±2.13	1.21±1.69 [1.13-1.29]	0.001
Sleep time, hours Before COVID -19 After COVID -19	7.44±1.29 9.08±1.86	1.63±1.97 [1.54-1.73]	0.001
Physical activity level, n (%) Changed Increased Decreased Unchanged	1491(89.1%) 361 (21.6%) 1130 (67.5%) 183 (10.9%)	-	-
Dietary habits, n (%) Changed Unchanged	1297 (77.5%) 377 (22.5%)	-	-
Meal frequency, n (%) Change in frequency of main meal Change in frequency of snack	782 (46.7%) 892 (53.3%)	-	-
Boredom Eating, n (%) Yes No	1180 (70.5%) 494 (29.5%)	-	-
Desire to eat out, n (%) Changed Increased Decreased Unchanged	1385 (82.7%) 195 (11.6%) 1190 (71.1%) 289 (17.3%)	-	-

Data are expressed as number (percentage of the total number) and mean±standard deviation [95% Confidence Interval].

*Wilcoxon signed-rank test; significance level set at <0.0

3.2. Discussion

During the pandemic, quarantine or social distant living practices applied in many countries have had various effects on individual and global dietary habits(Jayawardena and Misra, 2020; Sidor and Rzymiski, 2020). Changes in lifestyle during the quarantine period, a decrease in the level of physical activity, staying away from work, and working from home have led people

to live monotonous. Changes in people's eating and physical activity habits during the COVID-19 quarantine process is also an expected result. These conditions often caused people to have excessive energy intake, excessive fat, carbohydrate and protein intake(Muscogiuri *et al.*, 2020). These changes may be more challenging for students often with the effect of high stress. Smokers, in turn, often perceive cigarettes as a stress relief. There is a piece of experimental evidence that smoking during unpleasant circumstances may decrease the level of arousal resulting in temporary stress relief although studies have also shown that smoking may eventually lead to generation or aggravation of negative emotional states, support adverse coping strategies, and increase the overall stress level. On the contrary, 5.4% of the individuals in our study stopped smoking. The reason for this is thought to be due to the damage caused by COVID-19 to the lungs(Sidor and Rzymiski, 2020). Di Renzo *et al.* reported that during the COVID-19 quarantine in Italy 48.6% of individuals had an increase in body weight, 3.3% stopped smoking, and 38.3% increased their physical activity(Di Renzo *et al.*, 2020). Despite the increase in stress and changing lifestyle, no significant changes were found in the stress-related body weight changes of individuals in our study. Regarding screen use, the time spent in front of both the computer and the television has increased twice as much with the epidemic. This finding is consistent with the results of Rolland *et al.* (63.84%)(Rolland *et al.*, 2020). China have reported a prevalence of depression during quarantine up to 37% and a prevalence of anxiety up to 35%. Young adults have been reported to be more likely to present depression anxiety and reduced sleep quality. Younger people might experience higher anxiety levels because they are likely to reach a greater amount of information through social media, which might influence stress(Gualano *et al.*, 2020). In our study, a negative correlation was revealed in sleep duration and depression ($\rho=-0.06$, $p= 0.01$). Living alone is another known risk factor for increasing screen use, but in this study, since the majority of the participants (87.9%) live with their family, it cannot be said to have much influence(Rolland *et al.*, 2020). There was a decrease in about two-third of the individual's PA levels. There is a similar trend with the study of Rodríguez-Pérez *et al.* (59.6%)(Rodríguez-Pérez *et al.*, 2020). It is fair to attribute this result to the lack of incidental walking by commuting, regular activities or as part of one's daily life, including on-campus walking between classes. Epidemiological evidence demonstrated a pre-infection association between PA and a decrease in the frequency, length, or severity of acute respiratory tract infections. Therefore, reduction in physical activity raises health concerns. Outdoor activities can be done safely during COVID-19 if the social distance rules are followed. Fresh air can be obtained by carrying out activities such as walking, cycling and jogging without close contact with others. It is important to note that due to the aerodynamic effects of movement, additional social distance measures must be taken(Gallè *et al.*, 2020).

Most of the students (77.5%) participating in this study stated that their eating habits changed during the pandemic process and they ate when they were bored (70.5%). Approximately half of the participants stated that the frequency of main meals and snacks also changed. The majority of the students stated that the frequency of ordering food decreased during this period. During the quarantine, it has been reported that most individuals exceed the daily energy requirement, as well as undernourished individuals(Mehta, 2020). Various macro and micronutrient components in our daily diet have

immunomodulatory effects and are essential for a more severe course of clinical disease(Sidor and Rzymiski, immunocompetence; on the other hand, nutritional deficiencies 2020). are associated with higher host susceptibility to viral infection and

Table 3. Food Consumption Frequency Before and After COVID-19 (n=1674)

	Everyday	Every meal	3-5 times per week	1-2 times per week	Once in every 15 days	Once a month	Rarely	Never
Milk								
Before Covid-19	296 (17.7%)	27 (1.6%)	406 (24.3%)	391 (23.4%)	149 (8.9%)	49 (2.9%)	221 (13.2%)	135 (8.1%)
After Covid-19	384 (22.9%)	39 (2.3%)	440 (26.3%)	343 (20.5%)	124 (7.4%)	43 (2.6%)	161 (9.6%)	140 (8.4%)
Yogurt								
Before Covid-19	440 (26.3%)	57 (3.4%)	528 (31.5%)	382 (22.8%)	103 (6.2%)	26 (1.6%)	92 (5.5%)	46 (2.7%)
After Covid-19	539 (32.2%)	62 (3.7%)	561 (33.5%)	307 (18.3%)	73 (4.4%)	17 (1%)	56 (3.3%)	59 (3.5%)
Cheese								
Before Covid-19	812 (48.5%)	31 (1.9%)	394 (23.5%)	199 (11.9%)	54 (3.2%)	16 (1%)	68 (4.1%)	100 (6%)
After Covid-19	870 (52%)	38 (2.3%)	346 (20.7%)	180 (10.8%)	59 (3.5%)	16 (1%)	53 (3.2%)	112 (6.7%)
Red meat								
Before Covid-19	84 (5%)	21 (1.3%)	492 (29.4%)	645 (38.5%)	225 (13.4%)	70 (4.2%)	79 (4.7%)	58 (3.5%)
After Covid-19	73 (4.4%)	16 (1%)	614 (36.7%)	568 (33.9%)	204 (12.2%)	68 (4.1%)	78 (4.7%)	53 (3.2%)
Poultry meat								
Before Covid-19	80 (4.8%)	13 (0.8%)	524 (31.3%)	699 (41.8%)	205 (12.2%)	51 (3%)	64 (3.8%)	38 (2.3%)
After Covid-19	74 (4.4%)	18 (1.1%)	529 (31.6%)	704 (42.1%)	195 (11.6%)	41 (2.4%)	62 (3.7%)	51 (3%)
Fish and seafood								
Before Covid-19	23 (1.4%)	23 (1.4%)	86 (5.1%)	262 (15.7%)	412 (24.6%)	342 (10.4%)	351 (21%)	175 (10.5%)
After Covid-19	21 (1.3%)	14 (0.8%)	124 (7.4%)	287 (17.1%)	387 (23.1%)	251 (15%)	294 (17.6%)	296 (17.7%)
Salami and sausage								
Before Covid-19	109 (6.5%)	7 (0.4%)	301 (18%)	379 (22.6%)	280 (16.7%)	139 (8.3%)	286 (17.1%)	173 (10.3%)
After Covid-19	139 (8.3%)	22 (1.3%)	293 (17.5%)	390 (23.3%)	245 (14.6%)	111 (6.6%)	252 (15.1%)	222 (13.3%)
Egg								
Before Covid-19	683 (40.8%)	27 (1.6%)	434 (25.9%)	290 (17.3%)	70 (4.2%)	22 (1.3%)	84 (5%)	64 (3.8%)
After Covid-19	794 (47.4%)	21 (1.3%)	392 (23.4%)	236 (14.1%)	77 (4.6%)	24 (1.4%)	63 (3.8%)	67 (4%)
Legumes								
Before Covid-19	115 (6.9%)	23 (1.4%)	535 (32%)	662 (39.5%)	204 (12.2%)	57 (3.4%)	53 (3.2%)	25 (1.5%)
After Covid-19	124 (7.4%)	16 (1%)	581 (34.7%)	653 (39%)	187 (11.2%)	47 (2.8%)	41 (2.4%)	25 (1.5%)
Vegetables								
Before Covid-19	455 (27.2%)	84 (5%)	578 (34.5%)	349 (20.8%)	99 (5.9%)	25 (1.5%)	54 (3.2%)	30 (1.8%)
After Covid-19	499 (29.8%)	89 (5.3%)	547 (32.7%)	359 (21.4%)	84 (5%)	22 (1.3%)	43 (2.6%)	31 (1.9%)

<i>After Covid-19</i>								
Fresh fruits								
<i>Before Covid-19</i>	565 (33.8%)	40 (2.4%)	504 (30.1%)	346 (20.7%)	104 (6.2%)	20 (1.2%)	72 (4.3%)	23 (1.4%)
<i>After Covid-19</i>	660 (39.4%)	30 (1.8%)	489 (29.2)	314 (18.8%)	94 (5.6%)	20 (1.2%)	45 (2.7%)	22 (1.3%)
Dries fruits								
<i>Before Covid-19</i>	160 (9.6%)	32 (1.9%)	316 (18.9%)	389 (23.2%)	220 (13.1%)	102 (6.1%)	297 (17.7%)	158 (9.4%)
<i>After Covid-19</i>	176 (10.5%)	25 (1.5%)	312 (18.6%)	352 (21%)	249 (14.9%)	97 (5.8%)	270 (16.1%)	193 (11.5%)
Rice and pasta								
<i>Before Covid-19</i>	225 (13.4%)	25 (1.5%)	648 (38.7%)	531 (31.7%)	138 (8.2%)	33 (2%)	51 (3%)	23 (1.4%)
<i>After Covid-19</i>	217 (13%)	23 (1.4%)	621 (37.1%)	528 (31.5%)	149 (8.9%)	34 (2%)	63 (3.8%)	39 (2.3%)
Bulghur								
<i>Before Covid-19</i>	69 (4.1%)	24 (1.4%)	372 (22.2%)	628 (37.5%)	322 (19.2%)	91 (5.4%)	116 (6.9%)	52 (3.1%)
<i>After Covid-19</i>	67 (4%)	19 (1.1%)	404 (24.1%)	613 (36.6%)	301 (18%)	81 (4.8%)	115 (6.9%)	74 (4.4%)
Bread								
<i>Before Covid-19</i>	770 (46%)	287 (17.1%)	251 (15%)	147 (8.8%)	33 (2%)	11 (0.7%)	105 (6.3%)	70 (4.2%)
<i>After Covid-19</i>	747 (44.6%)	277 (16.5%)	235 (14%)	160 (9.6%)	52 (3.1%)	16 (1%)	120 (7.2%)	67 (4%)
Sugar and chocolate								
<i>Before Covid-19</i>	451 (26.9%)	52 (3.1%)	466 (27.8%)	356 (21.3%)	135 (8.1%)	51 (3%)	127 (7.6%)	36 (2.2%)
<i>After Covid-19</i>	400 (23.9%)	27 (1.6%)	462 (27.6%)	352 (21%)	166 (9.9%)	60 (3.6%)	138 (8.2%)	69 (4.1%)
Bakery products								
<i>Before Covid-19</i>	155 (9.3%)	18 (1.1%)	389 (23.2%)	536 (32%)	316 (18.9%)	101 (6%)	130 (7.8%)	29 (1.7%)
<i>After Covid-19</i>	148 (8.8%)	18 (1.1%)	435 (26%)	493 (29.5%)	297 (17.7%)	86 (5.1%)	143 (8.5%)	54 (3.2%)
Desserts								
<i>Before Covid-19</i>	75 (4.5%)	23 (1.4%)	248 (14.8%)	508 (30.3%)	419 (25%)	167 (10%)	178 (10.6%)	56 (3.3%)
<i>After Covid-19</i>	93 (5.6%)	6 (0.4%)	294 (17.6%)	488 (29.2%)	351 (21%)	150 (9%)	207 (12.4%)	85 (5.1%)
Fizzy drinks								
<i>Before Covid-19</i>	240 (14.3%)	35 (2.1%)	325 (19.4%)	278 (16.6%)	168 (10%)	93 (5.6%)	274 (16.4%)	261 (15.6%)
<i>After Covid-19</i>	239 (14.3%)	30 (1.8%)	282 (16.8%)	272 (16.2%)	175 (10.5%)	97 (5.8%)	258 (15.4%)	321 (19.2 %)

Data are expressed as number (percentage of the total number).

It was revealed that the number of students consuming fresh fruits and vegetables every day increased after the pandemic. Contrary to the results of this study, there are studies that found consumption decrease during the quarantine (Mehta, 2020; Sidor and Rzymiski, 2020). It has been reported that fruits and vegetables may increase immune function due to their antioxidant

and anti-inflammatory effects ('Turkish Dietetic Association's Recommendations on Nutrition and COVID-19', no date; *Food and nutrition tips during self-quarantine*, no date; *Combating COVID-19*, no date; Alpert, 2017; Muscogiuri *et al.*, 2020; Sidor and Rzymiski, 2020). In the period of COVID-19, the World Health Organization recommends consuming 9 servings a day, 4

portions of fruit and 5 portions of vegetables per day (Jayawardena and Misra, 2020).

In this study, the majority of the participants stated that they consume milk and yoghurt 3-5 times a week, cheese and eggs every day, red meat, processed meat products and poultry 1-2 times a week. There was no change in the consumption frequency of these foods before and after the pandemic. Unlike to our results, some studies have found an increased consumption of such foods during this period (Bracale and Vaccaro, 2020). In particular, processed meat products, fast food diets, frequent consumption of red meats have been associated with pro-inflammatory effects (Sidor and Rzymiski, 2020). WHO has recommended the consumption of lean and skinless meat to limit saturated fat intake. In addition, red and fatty meats, butter, full-fat dairy products; suggested a reduction in consumption of palm oil, coconut oil, lard and fat (*Food and nutrition tips during self-quarantine*, no date).

Most of the participants in this study stated that they consume fish and seafood every 15 days. Renzo et al.'s study, it was observed that fish consumption decreased during the pandemic (Di Renzo et al., 2020). The Turkish Dietetic Association emphasized the importance of fish consumption twice a week in its Nutrition Recommendations on COVID-19 ('Turkish Dietetic Association's Recommendations on Nutrition and COVID-19', no date). In this study, while consumption of sugar, chocolate and bakery products decreased; consumption of desserts has increased after the pandemic (Table flour increased during the pandemic process (Di Renzo et al., 2020). The WHO recommends consuming oats, brown pasta and rice, quinoa and whole wheat products with high fibre content rather than refined grains such as whole wheat, white pasta, rice and white bread (*Food and nutrition tips during self-quarantine*, no date).

Table 4. The Relationship Between Perceived Stress Level and Demographic Features, Screen Time, Sleep Status, Physical Activity Level, Dietary Habits (n=1674)

	Perceived stress level [§]
Age	0.02 (0.34)
Sex	0.09 (0.001)**
Body mass index	
Before COVID -19	0.02 (0.36)
After COVID -19	0.02 (0.37)
Participation in physical activity ^a	-0.05 (0.02)*
Amount of physical activity	-0.01 (0.67)
Time spent at the computer	
Before COVID -19	0.02 (0.23)
After COVID -19	-0.01 (0.67)
Time spent on the television	
Before COVID -19	0.004 (0.87)
After COVID -19	-0.008 (0.72)
Sleep time	
Before COVID-19	-0.03 (0.19)
After COVID-19	-0.06 (0.01)*
Change in physical activity level ^a	0.06 (0.007)**
Change in dietary habits ^a	0.05 (0.02)*
Boredom eating ^a	0.04 (0.09)
Change in the desire to eat out ^a	-0.07 (0.003)**

Spearman correlation test $p < 0.05$, * $p < 0.01$ **

Data are expressed as rho (p).

[§]As assessed by the Perceived Stress Scale.

^aCategorized as yes and no

The majority of the participants in this study stated that they consume legumes 1-2 times a week. Although there are studies showing that the consumption of legumes decreased during pandemic (Sidor and Rzymiski, 2020), there are also studies that found reduction (Di Renzo et al., 2020; Mehta, 2020). In the Turkish Dietetic Association's Dietary Recommendations on COVID-19, it is stated that legumes can be consumed every day ('Turkish Dietetic Association's Recommendations on Nutrition and COVID-19', no date). There is also some evidence that it may exert an anti-inflammatory effect due to the lectins and peptides found in legumes (Sidor and Rzymiski, 2020). During the pandemic, various combinations of meat and legumes with whole-grain products have been proposed to minimize micronutrient deficiencies and prevent viral infections such as COVID-19 (Jayawardena and Misra, 2020).

In this study, the majority of the participants stated that they consume rice and pasta 3-5 times a week, bulgur 1-2 times a week, and bread every day. In 2 different studies conducted in Italy, it was determined that the consumption of grains, pasta and

Currently, there is limited research on the effect of diet on COVID-19 incidence and mortality. A balanced and healthy diet is vital for preventing COVID-19 and diet-related chronic diseases and can positively affect mortality from COVID-19. On the other hand, an increase in chronic non-communicable diseases may be observed due to unhealthy dietary changes, deficiencies in micronutrients and increased intake of empty calories that may occur during the pandemic (Jayawardena and Misra, 2020). Food consumption increased during the social isolation process; there is in vivo evidence that the increase in food consumption is associated with the development of obesity and type 2 diabetes (Sidor and Rzymiski, 2020). As a result, a balanced diet with high amounts of minerals, antioxidants and vitamins is important to maintain a strong immune system, prevent or minimize chronic diseases and infections during the COVID-19 pandemic (Jayawardena and Misra, 2020; Muscogiuri et al., 2020).

4. Conclusions and Recommendations

At the end of this study, it was concluded that social isolation conditions cause some dietary and lifestyle changes in individuals. These new habits can be acquired and then have some unwanted effects on health. The role of modifiable lifestyle factors like diet and PA in maintaining health and wellness are fundamental. Therefore, during quarantine, we must encourage healthy eating and physical activity at home. Global action promoting healthy eating and physical activity is imperative to encourage people to return to a good lifestyle. Because the impact of this epidemic on nutrition and dietary intake is already beyond the individual and society to reach national and global levels. Understanding the current nutritional behavior of young adults during the COVID-19 quarantine will help public health officials reshape future policies regarding dietary recommendations for these individuals as new pandemics arrive and quarantine policies are implemented.

References

- Alpert, P. T. (2017). The Role of Vitamins and Minerals on the Immune System. *Home Health Care Management and Practice*, 29(3), 199–202. <https://doi.org/10.1177/1084822317713300>
- Aslan, H., & Pekince, H. (2020). Nursing students' views on the COVID-19 pandemic and their perceived stress levels. *Perspectives in Psychiatric Care*, (July). <https://doi.org/10.1111/ppc.12597>
- Bhagavathula, A., Aldhaleei, W. A., Rahmani, J. R., Mahabadi, M. A., & Bandari, D. K. (2020). Novel Coronavirus (COVID-19) Knowledge and Perceptions: A Survey of Healthcare Workers. *JMIR Public Health and Surveillance*. <https://doi.org/10.2196/19160>
- Bousquet, J., Anto, J. M., Iaccarino, G., Czarlewski, W., Haahtela, T., Anto, A., ... Zubrinich, C. (2020). Is diet partly responsible for differences in COVID-19 death rates between and within countries? *Clinical and Translational Allergy*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13601-020-00323-0>
- Bracale, R., & Vaccaro, C. M. (2020). Changes in food choice following restrictive measures due to Covid-19. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2020.05.027>
- Buheji, M., Hassani, A., Ebrahim, A., da Costa Cunha, K., Jahrami, H., Baloshi, M., & Hubail, S. (2020). Children and Coping During COVID-19: A Scoping Review of Bio-Psycho-Social Factors. *International Journal of Applied Psychology*, 10(1), 8–15. <https://doi.org/10.5923/j.ijap.20201001.02>
- Cao, W., Fang, Z., Hou, G., Han, M., Xu, X., Dong, J., & Zheng, J. (2020). The psychological impact of the COVID-19 epidemic on college students in China. *Psychiatry Research*, 287(March), 112934. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.112934>
- Chen, P., Mao, L., Nassiss, G. P., Harmer, P., Ainsworth, B. E., & Li, F. (2020). Coronavirus disease (COVID-19): The need to maintain regular physical activity while taking precautions. *Journal of Sport and Health Science*, 9(2), 103–104. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.02.001>
- Combating COVID-19. (n.d.). Retrieved July 25, 2020, from <https://www.nnedpro.org.uk/post/combating-covid-19>
- Crawley, E., Loades, M., Feder, G., Logan, S., Redwood, S., & Macleod, J. (2020). Wider collateral damage to children in the UK because of the social distancing measures designed to reduce the impact of COVID-19 in adults. *BMJ Paediatrics Open*, 4(1), 1–4. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2020-000701>
- Derbyshire, E., & Delange, J. (2020). COVID-19: is there a role for immunonutrition, particularly in the over 65s? *BMJ Nutrition, Prevention & Health*, *bmjnph-2020-000071*. <https://doi.org/10.1136/bmjnph-2020-000071>
- Di Renzo, L., Gualtieri, P., Pivari, F., Soldati, L., Attinà, A., Cinelli, G., ... De Lorenzo, A. (2020). Eating habits and lifestyle changes during COVID-19 lockdown: an Italian survey. *Journal of Translational Medicine*, 18(1), 229. <https://doi.org/10.1186/s12967-020-02399-5>
- Eskin, M., Harlak, H., Demirkıran, F., & Dereboy, Ç. (2013). Algılanan Stres Ölçeğinin Türkçeye Uyarlanması: Güvenirlilik ve Geçerlik Analizi, 132–140.
- Food and nutrition tips during self-quarantine. (n.d.). Retrieved September 16, 2020, from <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/technical-guidance/food-and-nutrition-tips-during-self-quarantine>
- Gallè, F., Sabella, E. A., Da Molin, G., De Giglio, O., Caggiano, G., Di Onofrio, V., ... Napoli, C. (2020). Understanding Knowledge and Behaviors Related to CoViD-19 Epidemic in Italian Undergraduate Students: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3481. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/10/3481>
- Gualano, M. R., Lo Moro, G., Voglino, G., Bert, F., & Siliquini, R. (2020). Effects of COVID-19 lockdown on mental health and sleep disturbances in Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134779>
- Harapan, H., Itoh, N., Yufika, A., Winardi, W., Keam, S., Te, H., ... Mudatsir, M. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review. *Journal of Infection and Public Health*, 13(5), 667–673. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.03.019>
- Jayawardena, R., & Misra, A. (2020). Balanced diet is a major casualty in COVID-19. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, (January).
- Mehta, V. (2020). The Impact of COVID-19 on the Dietary Habits of Middle-Class Population in Mulund, Mumbai, India, 1–10.
- Muscogiuri, G., Barrea, L., Savastano, S., & Colao, A. (2020). Nutritional recommendations for CoVID-19 quarantine. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(6), 850–851. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0635-2>
- Nyenhuis, S. M., Greiwe, J., Zeiger, J. S., Nanda, A., & Cooke, A. (2020). Exercise and Fitness in the Age of Social Distancing During the COVID-19 Pandemic. *Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 8(7), 2152–2155. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2020.04.039>
- Orgilés, M., Alexandra Morales, E. D., Claudia Mazzeschi, J. P. E., & Universidad. (2020). Immediate psychological effects of the COVID-19 quarantine in youth from Italy and Spain.
- Reyes-Olavarria, D., Latorre-Román, P. Á., Guzmán-Guzmán, I. P., Jerez-Mayorga, D., Caamaño-Navarrete, F., & Delgado-Floody, P. (2020). Positive and negative changes in food habits, physical activity patterns, and weight status during covid-19 confinement: Associated factors in the Chilean population. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155431>
- Rodríguez-Pérez, C., Molina-Montes, E., Verardo, V., Artacho, R., García-Villanova, B., Guerra-Hernández, E. J., & Ruíz-López, M. D. (2020). Changes in dietary behaviours during the COVID-19 outbreak confinement in the Spanish COVIDiet study. *Nutrients*, 12(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/nu12061730>
- Rolland, B., Haesebaert, F., Zante, E., Benyamina, A., Haesebaert, J., & Franck, N. (2020). Global Changes and Factors of Increase in Caloric/Salty Food Intake, Screen Use, and Substance Use During the Early COVID-19 Containment Phase in the General Population in France: Survey Study. *JMIR Public Health and Surveillance*, 6(3), e19630. <https://doi.org/10.2196/19630>
- Sidor, A., & Rzymiski, P. (2020). Dietary choices and habits during COVID-19 lockdown: Experience from Poland. *Nutrients*, 12(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nu12061657>
- Singh, D. R., Sunuwar, D. R., Karki, K., Ghimire, S., & Shrestha, N. (2020). Knowledge and Perception Towards Universal Safety Precautions During Early Phase of the COVID-19 Outbreak in Nepal. *Journal of Community Health*. <https://doi.org/10.1007/s10900-020-00839-3>
- Turkish Dietetic Association's Recommendations on Nutrition and COVID-19. (n.d.), 1–10.
- Witt, A., Ordóñez, A., Martin, A., Vitiello, B., & Fegert, J. M. (2020). Child and adolescent mental health service provision and research during the Covid-19 pandemic: Challenges, opportunities, and a call for submissions. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, 14(1), 8–11. <https://doi.org/10.1186/s13034-020-00324-8>



Döndürmeli Kaplama Yöntemi ile Kurkumin Kaplanmış Polikaprolakton Nanolif Yara Örtülerinin Hazırlanması ve *in vitro* Etkinliğinin İncelenmesi

Didem Şen Karaman^{1*}, Nursu Erdoğan²

^{1*} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2368-9598), didem.sen.karaman@ikcu.edu.tr

² İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3814-3480), nursuerdogann@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 19 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 3 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.939464)

ATIF/REFERENCE: Şen Karaman, D. Erdoğan, N., (2021). Döndürmeli Kaplama Yöntemi ile Kurkumin Kaplanmış Polikaprolakton Nanolif Yara Örtülerinin Hazırlanması ve *in vitro* Etkinliğinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 715-720.

Öz

Nanolifler; sahip olduğu geniş yüzey alanı, mekanik özelliklerinin ve çaplarının ayarlanabilir olması sebebiyle yara örtüsü olarak önemli avantajlar sağlamaktadır. Nanolif yara örtüleri, yaranın enfeksiyondan korunmasına yardım ederken yara iyileşmesi için de uygun ortamı sağlar. Buna ilaveten, nanoliflerin terapötik ajanlarla birleştirilmesi lokal tedavi ve yara iyileşmesinin sistemik dolaşımdan bağımsız olmasını sağlayarak vücutta olabilecek zayıf vasküler perfüzyon gibi yara iyileşmesini etkileyecek durumların önüne geçer. Nanoliflere eklenen terapötik ajanlar enfeksiyonların önlenmesine ve enflamasyonun azaltılmasına da uygun ortam sağlayarak yara iyileşmesini desteklemektedir. Bu sebeple nanoliflerin terapötik bir ilaç ile birleştirilmesi lokal ilaç taşıyıcı sistemlerin sağlanmasında avantajlı ve yara iyileşmesinde umut vaat eden bir yaklaşımdır. Yara iyileşmesine katkıda bulunmak amacı ile nanoliflere terapötik ajanların farklı yöntemlerle entegre edilmesi konusunda çalışmalar bulunmaktadır. Fakat nanolif üretiminde en yaygın yöntem olan elektroçirme, ilacın polimer solüsyonları ile karıştırılarak üretilmesine olanak sağlarken ilaç salım profillerinin yara iyileşme sürecini desteklemesini kısıtlamaktadır. Bu yüzden terapötik ajanların nanolifler ile birleştirilmesinde yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmesi gereklidir. Nanoliflere ilaç yüklenme stratejisi olarak döndürmeli kaplamanın bu alanda avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle nanolifleri oluşturan polimerin degradasyonuna bağlı kalmadan ilaç salımı yapabilecek nanolif yara örtüsünün hazırlanmasına ve literatürde yer alan nanolif –terapötik ilaç birleştirilmesine yenilikçi bir yaklaşım getirilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada yara örtüsü olarak oldukça etkin olan nanoliflere ilaç entegre edilmesinde yenilikçi bir yöntem olan döndürmeli kaplama kullanılarak ilaç entegrasyonunun verimliliği ve yara örtüsünün özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar terapötik ajan olarak seçilen kurkuminin döndürmeli kaplama tekniği ile nanoliflere başarılı bir şekilde entegre edildiğini göstermiş ve kurkumin salım profillerinde, kaplanan ilaç miktarının %50'sinden fazlasının ilk iki saat içerisinde salındığı gözlemlenmiştir. Buna ilaveten yalnız nanoliflerle karşılaştırıldığında ilaç yüklü nanoliflerin 24 saat sonunda fibroblast hücre çoğalmasında indüklediği gözlemlenmiştir. Bütün olarak değerlendirildiğinde, kurkumin birikimli nanoliflerin hücre çoğalmasında destekleyici olmasının bağ doku yenilenmesi için de faydalı olabileceği ön görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektroçirme, Nanolif, Yara örtüsü, Döndürmeli kaplama, Kurkumin.

Preparation of Curcumin Spin-coated Polycaprolactone Nanofiber Wound Dresses and Investigation of *in vitro* Efficacy

Abstract

The high surface area, tunable mechanical properties of nanofibers are beneficial as wound dressings. Nanofiber wound dressings provide an appropriate environment for wound healing while employing protection against infections. Moreover, integration of nanofibers and therapeutics agents can be employed as local treatment and to ensure an independent healing process thereby restrain conditions such as poor vascular perfusion that affect wound healing. Integration of therapeutic agents into nanofibers supports wound healing by providing a convenient environment for inhibition of infections and reducing inflammation. For that reason, the integration of therapeutics agents to nanofibers is advantageous to provide local drug delivery and a promising approach for wound healing. In literature, there are many studies about the integration of therapeutics agents to nanofibers employed with various methods to enhance wound healing. Electrospinning is a common technique for producing nanofiber and allows nanofiber fabrication by blending polymer solutions and drug however blending of drug and polymer solutions limit the demanded drug release for wound healing. It is direly needed to develop an approach for the integration of and therapeutic agents to nanofibers wound dressing whereas drug release is independent of polymer degradation. Therefore, innovative approaches needed to be employed for the integration of nanofibers and

* Sorumlu Yazar: didem.sen.karaman@ikcu.edu.tr

therapeutic agents. In this study, the spin coating was employed for the accommodation of, the therapeutics content, curcumin on the nanofibers followed by the investigation of the efficiency of the spin-coating approach for the drug integration on nanofibers to be employed as a wound dressing. The results showed that accommodation of curcumin onto nanofibers was performed successfully by spin-coating and more than 50% of accommodated curcumin was released in 2 hours. Furthermore, drug-loaded nanofibers improved fibroblast cell proliferation for 24h in comparison to pristine nanofiber. In view of all, curcumin deposited nanofibers are considered as profitable for connective tissue regeneration by means of supporting cell proliferation.

Keywords: Electrospinning, Nanofibers, Wound dressing, Spin coating, Curcumin.

1. Giriş

Yara iyileşmesi doku yenilenmesinin ve büyümesinin dinamik ve karmaşık bir sürecidir. Bu süreci etkileyen etkenlerden biri de kullanılan yara örtüsü malzemesidir (Dhivya, Padma ve Santhini, 2015). Yara örtüleri yaranın enfeksiyondan korunmasına yardım ederken yara iyileşmesi için de uygun ortamı sağlar. Yara iyileşmesinde sistemik ilaç uygulama yöntemleri günümüzde alışlagelmiş yöntemlerdir. Fakat ilaçların hasarlı bölgede yetersiz miktarda birikmesine böylece de yüksek dozlarda tekrar ilaç uygulamasına sebep olabilir. Ayrıca, sistemik yolla alınan ilaçlar vücutta hızlı bir şekilde bozunmaya uğrayabilir ve boşaltım sistemi ile vücuttan uzaklaştırılabilir (Saka, Sathe ve Khan, 2019). Sistemik ilaç uygulama yöntemlerinin kısıtlamalarının aşılması için ilaçların direkt olarak hasarlı bölgeye uygulanmasına olanak veren lokal uygulama için ilaç iletim sistemlerinin tasarlanmasına ihtiyaç vardır (Wen, Jung ve Li, 2015). Terapötik ajanlarla lokal tedavi, yara iyileşmesinin sistemik dolaşımdan bağımsız olmasını sağlar ve böylece vücutta olabilecek zayıf vasküler perfüzyon gibi yara iyileşmesini etkileyecek durumlara karşı nanoliflerin enfeksiyonu ve enflamasyonu azaltması, uygun ortam sağlayarak yara iyileşmesini desteklemesi beklenmektedir (Chen ve diğerleri, 2017). Nanoliflerin terapötik bir ilaç ile birleştirilmesiyle yapılacak lokal ilaç taşıyıcı sistemin yara iyileşmesi yerine kullanılması umut vaat eden bir yaklaşımdır. Özellikle inflamasyonun azaltılması amacıyla antiinflamasyon ilaçların lokal olarak bölgeye uygulanmasının gerekebileceği düşünülmektedir. Bu yüzden, literatürde yara iyileşmesini arttırmak için farklı polimerlerden üretilmiş nanoliflere terapötik ajanların entegre edildiği birçok çalışma bulunmaktadır (Lee ve diğerleri, 2014; Miguel ve diğerleri, 2018; Shokrollahi, Bahrami, Nazarpak ve Solouk, 2020; Xie ve diğerleri, 2013; M. Yu ve diğerleri, 2020).

Son zamanlarda elektroçirme yöntemi ile üretilen nanolifler sahip olduğu avantajlar sayesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ucuz bir yöntem olan elektroçirme ile üretilen nanolifler sahip olduğu geniş yüzey alanı, mekanik özellikleri ve çaplarının ayarlanabilir olması sebebiyle ilaç iletim sistemi olarak kullanılabilir (Turanlı ve Acartürk, 2018). Nanoliflerin nanoboyutta ve gözenekli yapıları sayesinde geniş yüzey alanına sahip olmaları biyoaktif yara örtüsü olarak etken maddelerin kontrollü salımında kullanılmaları ve canlı hücre üreyebilmesi için fizyolojik ortamı taklit edebilmeleri açısından ön plana çıkmaktadırlar (Kurtoğlu ve Karataş, 2009). Yapılan çalışmalarda özellikle elektroçirme yöntemi ile oluşturulan polimerik nanoliflerin yüzey alanlarının oldukça geniş olması, liflerin çaplarının hücre tutunmasına uyumlu olacak şekilde ayarlanabilmesi, yüzey özelliklerinin değiştirilmesiyle mekanik özelliklerinin ayarlanması dura grefti hazırlanması için oldukça avantajlıdır (Mohtaram ve diğerleri, 2015). Buna ek olarak farklı polimerlerin işlevselliğin artırılması için terapötik ajanlarla birleştirilmesi literatürde kabul görmüş bir strateji olarak yer almaktadır (Patel ve Yadav, 2018). Biyobozunur ve biyouyumlu bir polyester olan, Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç

Kurumu (FDA) onaylı polikaprolakton (PCL) kullanılarak elde edilen elektroçirilmiş nanolifler, gözenekli yapıya sahip elastik morfoloji sayesinde gaz değişimine olanak sağlamakta ve yara bölgesindeki eksudat için rezarvuvarlar sağlamaktadır. Ancak, PCL in yara bölgesine kuvvetli şekilde tutunma eğilimi göstermesi tamir olan yeni deri dokusunun zarar görmesine ve tedavi sürecinin uzamasına neden olmaktadır (İşoğlu, 2019). Bu da üstün mekanik özelliklere sahip PCL' nin tek başına yara örtüsü olarak kullanımını sınırlamaktadır.

Yara tedavilerinde sistemik uygulama yolları ile verilen bazı ilaçların (örneğin kurkumin) biyoyararlanımı düşüktür. Kurkuminin; antioksidan, antikanserjenik, antimutajenik, antidiyabetik, antibakteriyel, antiviral, antiinflamatuvar, antinosiseptif etkileri ile geniş bir biyolojik ve farmakolojik etkiye sahip olduğu literatürde sunulmuştur. Fakat bu çalışmada kullanılan ve yara iyileştirme etkinliği bilinen kurkuminin ağızdan verildiğinde yüksek kararlılıkta çözünmesi azdır. Kurkumin değerlendirildiğinde ilacın hidrofobik yapısından dolayı ilaçların istenen biyoyararlanımı göstermesi için etkin ilaç taşıyıcı sisteme ihtiyaç doğmaktadır. Yapılan araştırmalar, nanoliflerin, bu tip ilaçları taşımada uygun taşıyıcılar olduğu ağızdan alınana göre iyileştirme etkisinin arttığı doğrultusundadır (Merrell ve diğerleri, 2009). Örneğin, hidrofobik yapısı yüzünden düşük biyoyararlanıma ve uyumluluğa sahip kurkuminin nanolifler ile biyouyumluluğu ve kararlılığı artırılabilir. Böylece antiinflamasyon, antioksidan ve yara iyileşmesi özelliklerinden daha etkin yararlanılabilir (Fereydouni ve diğerleri, 2018).

Bu çalışmada yenilikçi bir yaklaşımla; çoğunlukla uygulanan elektroçirme yapılacak polimerin içine uygulama öncesi ilaç katkılandırma yönteminden farklı olarak döndürmeli kaplama tekniği ile PCL nanoliflere kurkumin birikimi yapılarak yara örtüsü olarak uygulanabilecek lokal ilaç iletim sistemi tasarlanmıştır. Bu sayede kurkumin salımının nanoliflerin degridasyonuna bağlı kalmaksızın lokal olarak istenilen bölgede etkinlik göstermesi sağlanabilecektir. Bunun yanı sıra elde edilen kurkumin kaplı PCL nanoliflerin doku yenilenmesi için *in vitro* ortamda fibroblast hücre canlılığına olan etkisinin incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Nanoliflerin Üretimi ve Karakterizasyonları

Nanolif üretimi için PCL polimeri (%10 a/h)(Sigma Aldrich; ortalama Mn 80,000) 3:1 hacimsel oranında kloroform (Merck Millipore) ve dimetilformamid (Isolab) karışımı içerisinde çözündürülmüştür. Elde edilen polimer karışımı ile elektroçirme cihazında 20 kV elektrik potansiyel, 20 cm şırınga ucu-toplaç uzaklığı ve 1 mL/sa pompalama hızı kullanılarak nanolifler oluşturulmuştur (Zhang ve diğerleri, 2011). Üretilen nanolifler vakum altında saklanmıştır.

2.1.1. Nanoliflerin Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Üretilen nanoliflerin morfolojik yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM; Carl Zeiss, Almanya) ile incelenmiştir. İlk olarak, fiberler vakumlanarak nem uzaklaştırılmış ve 60 saniye

boyunca altın ile kaplanmıştır (Quorum Q150 RES, Birleşik Krallık). Nanoliflerin çap dağılımı Image J 1.52a yazılımı ile belirlenmiştir.

2.1.2. Islanabilirlik Testi

Nanoliflerin yüzey ıslanabilirliği, yüzey temas açısı ölçümü Attension Theta Lite Optical Tensiometer (Biolin Scientific, İsveç) ve Image J 1.52a yazılımı ile belirlenmiştir. Sonuçlar istatistiksel olarak GraphPad Prism 8.4.2 ordinary one-way ANOVA-Sidak's çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir.

2.1.3. Su Tutma Kapasitesinin Belirlenmesi

Üretilen nanoliflerin su tutma kapasitelerinin belirlenmesi için örnekler fosfat tampon çözeltisi içerisinde (pH:~7.2, 10 mM) 24 saat boyunca bekletilmiştir. Ertesi gün nanoliflerin ilk ağırlıklarına göre ortalama ağırlık artışları bulunarak su tutma yüzdeleri hesaplanmıştır. Sonuçlar istatistiksel olarak GraphPad Prism 8.4.2- 2way ANOVA-Sidak's çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir.

2.1.4. Nanoliflerin Biyobozunumunun İncelenmesi

Nanoliflerin biyobozunumunun incelenmesi için distile su içerisinde 124mM NaCl, 2mM KCl, 2mM MgSO₄, 1.25 mM NaH₂PO₄, 2mM CaCl₂, 26mM NaHCO₃, 10 mM D-glukoz çözündürülerek yapay vücut sıvısı (pH: ~7.4) hazırlanmıştır (Moyer ve Brown, 1998). Daha sonra örnekler yapay vücut sıvısına daldırılmış ve 37°C'de çalkalayıcıda bırakılmıştır. İlk ağırlıklarına göre fiberlerin ağırlık kaybı 1., 2., 7., 14. ve 28. günlerde hesaplanmıştır. Sonuçlar istatistiksel olarak GraphPad Prism 8.4.2 2way ANOVA-Tukey's çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir.

2.2. Nanolif Yüzeylerinin Kurkumin ile Kaplanması ve Karakterizasyonu

Nanoliflerin kurkumin ile kaplanması için döndürmeli kaplama tekniği (Laurell Spin Coater; model WS-400BZ-6NPP/LITE) kullanılmıştır. İlk olarak nanolifler biyoyumlu silikon ile yuvarlak cam lameller üzerine yapıştırılarak sabitlenmiştir. Kurkumin (Sigma Aldrich) 1mg/mL konsantrasyonunda (4-(2-hidroksietil)-1-piperazineetansulfonik asit) (HEPES; Sigma Aldrich) içerisinde sonikasyon cihazı yardımıyla dağıtılmıştır. Daha sonra lif yüzeyleri % 0.1 (a/h) sürfaktan içeren HEPES ile ıslatılmış ve hazırlanan kurkumin solüsyonundan lif yüzeylerine 20 µg, 50 µg ve 100 µg kurkumin içeren hacimlerde damlatılmıştır. Kurkuminin lif üzerinde birikimi için döndürmeli kaplama 5 saniye boyunca 500 rpm daha sonra 4000 rpm hızında 1 dakika boyunca uygulanmıştır (Wang ve diğerleri, 2016). Örnekler 30 °C'de bir gün boyunca etüvde kurutulmuştur. Kurkumin kaplanan liflerin morfolojik yapısı SEM ile incelenmiştir. Ayrıca, kurkumin kaplama yapılmış nanoliflerin çap dağılımları ve temas açıları Image J 1.52a yazılımı ile belirlenmiştir.

2.3. Nanolif Yüzeylerindeki Kurkumin Miktarının Tayin Edilmesi

Kurkumin miktarının belirlenmesi için ilk olarak standart eğrisi oluşturulmuştur. Detayında; PCL nanolifi konsantrasyonu 1mg/mL olacak şekilde kloroformda çözündürülmüş ve içerisine 2.5 µg/mL, 5 µg/mL, 10 µg/mL, 20 µg/mL konsantrasyonlarında kurkumin eklenmiştir. Hazırlanan solüsyonlar spektrofotometrik olarak ölçülmüş ve 420 nm'de standart eğri oluşturulmuştur. Farklı başlangıç miktarlarında üzerine (20µg, 50µg ve 100µg) e-ISSN: 2148-2683

Nanoliflerin yüzey temas açısı ölçümü Attension Theta Lite Optical Tensiometer (Biolin Scientific, İsveç) ve Image J 1.52a yazılımı ile belirlenmiştir. Sonuçlar istatistiksel olarak GraphPad Prism 8.4.2 ordinary one-way ANOVA-Sidak's çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir.

döndürmeli kaplama ile kurkumin biriktirilen örnekler, nanoliflerin konsantrasyonları 1mg/mL olacak hacimde kloroform eklenmiş ve çözündürülmüştür. Elde edilen kurkumin ve PCL içeren solüsyon ultraviyole ve görünür ışık spektrofotometre ile okunmuştur. Ölçülen absorbans değerleri oluşturulan standart eğrisi ile fiber üzerindeki kurkumin miktarının hesaplanmasında kullanılmıştır (Rüzgar ve diğerleri 2013; Yu ve diğerleri, 2010).

2.4. Kurkumin ile Kaplı Nanoliflerden İlaç Salımının İncelenmesi

İlaç salımının incelenmesi %1 lik tween80 sürfaktan içeren pH'ı 7.4 olan fosfat tampon çözeltisi hazırlanarak sink koşullarına benzer koşullar oluşturularak 0.5, 1., 2., 4., 6., 8., 12., 24., 48., 56. saatlerde spektroskopik analiz yöntemleri ile gözlemlenmiştir (Sadri, Mohammadi ve Hosseini, 2016). Spektroskopi ölçümlerinden sonra analiz sonuçları ile zamana karşı kümülatif ilaç salım grafiği çizilerek kurkumin kaplanmış nanoliflerden gerçekleşen ilaç salım profili tayin edilmiştir. İlaç salım analizine başlamadan önce fiberlerdeki kurkuminin kaplama oranı dikkate alınarak salım profili belirlenmiştir.

2.5. Kurkumin Kaplı Nanoliflerin *in vitro* Sitotoksitesi

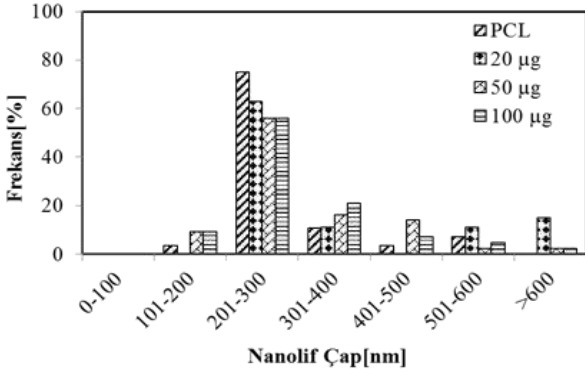
Kurkumin kaplanan nanoliflerin canlılık testi için L929 fare fibroblast hücre hattı kullanılmıştır. Hücreler %10 fetal sığır serumu ve %1 penisilin-streptomisin içeren besiyeri (DMEM; Dulbecco's Modified Eagle Medium) kullanılarak çoğaltılmış ve besiyerleri 2 günde bir taze besiyeri ile değiştirilmiştir. Yeterli yoğunluğa ulaşan hücreler standart hücre kültürü şişeleri yüzeylerinden kaldırılmış ve 24 kuyucuklu plakalara 5x10⁴ hücre/kuyu yoğunluğunda ekilmiştir. Hücrelerin tutunmaları için plakalar 16-18 saat 37 °C'de %5 CO₂ içeren inkübatörde bırakılmıştır. Kurkumin birikimi yapılan nanolif örnekleri sterilizasyon için 1 saat boyunca ultraviyole ışığı altında bekletilmiştir. ISO 10993-5:2009(E) 'de yer alan direkt temas testine göre kurkumin birikimi yapılan nanolifler 24 kuyucuklu plakalara ekilen hücreler üzerine dikkatli bir şekilde yerleştirilmiştir. Kontrol grubu olarak sadece yuvarlak cam lameller kullanılmıştır. Nanolifler ile muamele edilen hücrelerin canlılığı 72 saat boyunca 3-(4,5-dimetiltiyazol2-yl)-2,5-difeniltetrazolyum-bromür (MTT) testi ile belirlenmiş, absorbans değerleri canlılık ile ilişkilendirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

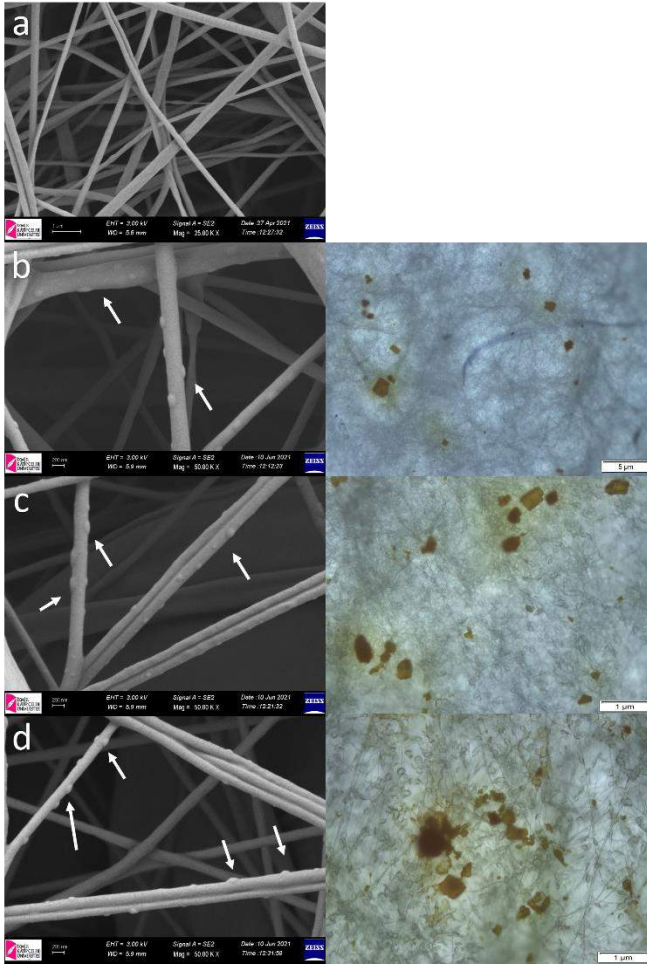
3.1. Nanoliflerin Fizikokimyasal Karakterizasyonları

Üretilen PCL nanoliflerinin kaplama öncesi ve sonrası çap dağılımı Image J 1.52a yazılımı ile bulunmuş; Şekil 1'de histogram grafikleri verilmiştir. Sonuçlara göre, 201-300 nm aralığında çap uzunluğuna sahip nanolifler üretilmiştir ve kurkumin kaplama nanoliflerin çap uzunlukları üzerinde bir değişikliğe yol açmamıştır. Ayrıca, nanoliflerin morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu ve ışık mikroskobu ile incelenmiştir. Şekil 2'de kaplamasız ve farklı miktarlarda kurkumin kaplama yapılan nanolifler rastgele hizalanmış ve

birbirlerine bağlı porlu yapılar oluşturmuştur. Kaplama yapılan nanolifler üzerinde kurkumin birikiminin gerçekleştiği ve kaplamanın nanolif morfolojisini etkilemediği gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Kaplama Öncesi ve Sonrası Nanoliflerin Çap Dağılımı



Şekil 2. Kaplama Öncesi ve Sonrası Nanoliflerin Mikroskop Görüntüsü, (a) PCL, (b) 20 µg, (c) 50 µg, (d) 100 µg Kurkumin Kaplanmış Nanolifler

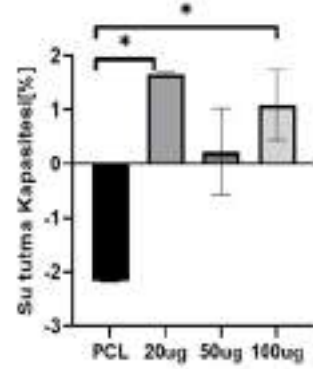
Nanolifler kaplama öncesi ve sonrası ıslanabilirlik açısından yüzey temas açısı testi ile değerlendirilmiştir (Şekil 3). Teste göre kaplama öncesi PCL nanolif yüzeyinin su damlası ile arasındaki açı $121.4^{\circ} \pm 0.3$ olarak ölçülmüştür. 20, 50 ve 100 µg kurkumin kaplama sonrası nanoliflerin yüzey teması açıları sırasıyla $116.8^{\circ} \pm 1.5$, $115.5^{\circ} \pm 2$, $124.2^{\circ} \pm 3.2$ bulunmuştur. Analizler sonrasında 20µg ve 50µg kurkumin kaplanan nanoliflerin yüzey temas açıları ile 100 µg kurkumin kaplanan nanolifin temas açısı

arasında istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturulduğu ($p < 0.05$) bulunmuştur. Bu durum kaplanan kurkumin miktarındaki artışa bağlı olarak yüzeylerinde daha çok kurkumin birikimi olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Sonuca göre tüm nanoliflerin hidrofobik özelliğe sahip olduğu gösterilse de en az miktardaki 20 µg kurkumin miktarının en düşük temas açısına sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Literatürde yer alan PCL liflerin temas açıları değerlendirildiğinde özellikle PCL nanoliflerin çaplarının temas açısı üzerinde etkisi olduğu gösterilmiştir (Oliveira, Mattoso, Orts ve Medeiros, 2013). Buna ilaveten alifatik özellikteki PCL ve PLLA gibi polimerlerden elde edilen nanoliflerin genellikle 116° - 135° arasında temas açısına sahip olduğu ifade edilmiştir (Niemyczk-Soczynska, Gradys ve Sajkiewicz, 2020).



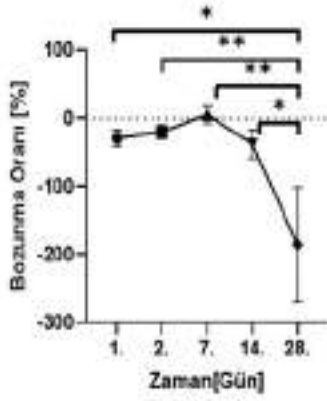
Şekil 3. PCL Nanoliflerinin Yüzey Islanabilirlik Testi

Yüzeyine kurkumin birikimi gerçekleştirilen nanoliflerin su tutma kapasiteleri Şekil 4'teki grafikte gösterilmiştir. Farklı başlangıç miktarlarındaki kurkumin birikiminin nanoliflerin su tutma kapasitelerinde anlamlı bir fark oluşturmadığı görülmüştür. Buna karşın kurkumin kaplaması yapılmamış yara örtüsü ile karşılaştırıldığında su tutma kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Buna benzer bir durum yara örtüsünün yüzeyinde bulunan kurkuminin kimyasal yapısındaki oksijenin proton donor özelliğinden dolayı su ile bağlanmayı artırması olarak literatürde tartışılmıştır (Ranjbar-Mohammadi ve Bahrami, 2016).



Şekil 4. Nanoliflerin Su Tutma Kapasitesi Tayini. Grafik Ortalama ve Standart Sapma Değerlerini Göstermektedir. * İşareti $p < 0.05$ 'i İfade Etmektedir.

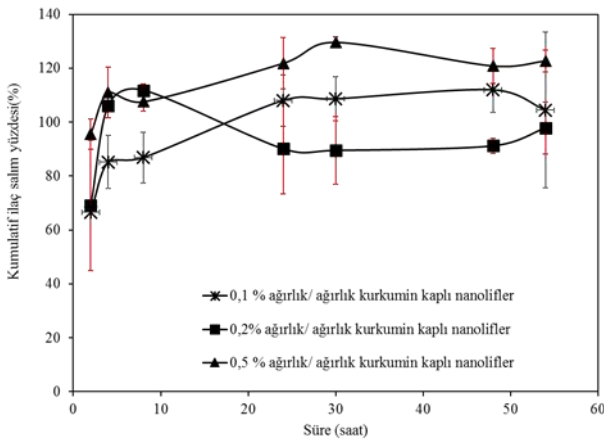
PCL nanoliflerin bozunma miktarı, simüle edilmiş vücut sıvısı içerisinde 28 gün boyunca takip edilmiştir (Şekil 5). PCL nanolifleri 28 gün sonunda bozunma göstermemiştir. Sonuç olarak PCL nanolifler ile uzun sürede tekrar emilebilir matlar üretilebileceği belirtilmiştir.



Şekil 5. PCL Nanolifinin Bozunma Oranı. Grafik Ortalama ve Standart Sapma Değerlerini Göstermektedir. * İşareti $p < 0.05$ 'i, ** İşareti $p < 0.01$ 'i İfade Etmektedir.

3.2. Nanolif Yüzeylerinin Kurkumin Miktarları ve Kurkumin Salım Profili

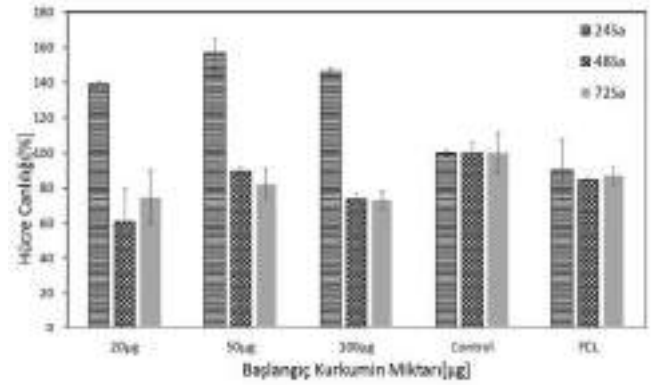
Kurkumin birikimi yapılan nanoliflerin kurkumin biriken miktarları uygulanan yöntemle 20 μ g, 50 μ g ve 100 μ g sırası ile 0.1 \pm 0.01 (a/a %), 0.2 \pm 0.01 (a/a %) ve 0.5 \pm 0.01 (a/a %) olan miktarlarda sağlanmıştır. Kurkumin salım profillerinden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda beklenildiği yönde artan kurkumin birikimi ile ilk 2 saat içerisinde elde edilen salım miktarı da artmaktadır. Sırası ile en düşük birikim miktarında sahip olan nanolifin üzerindeki kurkuminin %65'i, orta seviyede (0.2 \pm 0.01 (a/a %)) birikim miktarına sahip olan nanolifin üzerindeki kurkuminin %69'u ve en yüksek birikim miktarında sahip olan nanolifin üzerindeki kurkuminin %95'ini ilk iki saatte salınmıştır. Elde edilen kurkumin salım profili değerlendirildiğinde eş parametreler ile farklı dozlarda çalışılarak ilaç çözünürlüğünde olumlu yönde değişiklik elde edilebileceğinin göstergesi olarak kabul edilebilir. Bunun yanı sıra literatürde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde döndürmeli kaplama yöntemi sayesinde gelişmiş ilaç salımı ile kuru koşulların sağlandığı kararlı amorf yapıda ilaç biriktirilmesinin sağlanabildiği gösterilmiştir (Albarahmieh, Albarahmieh ve Alkhalidi, 2018).



Şekil 6. Zamana Bağlı Kümülatif Kurkumin Salım Profili

Sitotoksikite testi için hücre canlılıkları 3 gün boyunca incelenmiştir. Şekil 7'de gösterildiği üzere ilk 24 saat kurkumin birikimli nanolifler ile muamele edilmiş hücrelerin canlılıkları kontrol grubuna göre artış göstermiştir. 48. ve 72. saat sonunda e-ISSN: 2148-2683

hücre canlılıkları 24 saat sonuçlarına göre azalma göstermiş fakat hücre canlılığını toksik düzeyde etkilenmemiştir.



Şekil 7. Hücre Canlılık Sonuçları

4. Değerlendirmeler

Elde edilen veriler özellikle döndürmeli kaplama tekniğinin nanolifler üzerine en kısa sürede lokal olarak en etkin ilaç iletiminin sağlanması için uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir. Bu sayede özellikle nanoliflerin bozunmasına ihtiyaç duyulmadan ilk 2-4 saat içerisinde ilaç salımının sağlanabileceği gösterilmiştir. Buna ilaveten ilk 24 saatte elde edilen yüksek ilaç salım miktarının doku-yara örtüsü etkileşimini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda ilerleyen çalışmalarda farklı kompozisyonlardaki nanolif blendlerinin döndürmeli kaplama tekniği ile birleştirildiğinde ilaç salım profiline etkileyip etkilemediği konusunda çalışmaların gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada döndürmeli kaplama ile ilaç birikimi lokal ilaç iletimi konusunda başarılı bir şekilde gösterilmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Bilimsel Projeler Koordinatörlüğü (BAP) tarafından 2019-TYL-FEBE-0010 nolu proje ile desteklenmiştir. Ayrıca, çalışmada döndürmeli kaplama cihazının kullanımındaki yardımlarından dolayı İzmir Katip Çelebi Üniversitesi-Organik Yarı İletken Malzemeler Uygulama Laboratuvarına ve L929 fibroblast hücre hattının temin edilmesine yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Gülşah Erel Akbaba 'ya teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Albarahmieh, E., Albarahmieh, M. ve Alkhalidi, B. A. (2018). Fabrication of Hierarchical Polymeric Thin Films by Spin Coating Toward Production of Amorphous Solid Dispersion for Buccal Drug Delivery System: Preparation, Characterization, and *In Vitro* Release Investigations. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 107(12), 3112-3122. doi:10.1016/j.xphs.2018.08.019
- Chen, S., Liu, B., Carlson, M. A., Gombart, A. F., Reilly, D. A. ve Xie, J. (2017). Recent advances in electrospun nanofibers for wound healing. *Nanomedicine*, 12(11), 1335-1352. doi:10.2217/nmm-2017-0017

- Dhivya, S., Padma, V. V. ve Santhini, E. (2015). Wound dressings – a review. *BioMedicine*, 5(4), 22. doi:10.7603/s40681-015-0022-9
- Fereydouni, N., Darroudi, M., Movaffagh, J., Shahroodi, A., Butler, A. E., Ganjali, S. ve Sahebkar, A. (2018). Curcumin nanofibers for the purpose of wound healing. *Journal of Cellular Physiology*, jcp.27362. doi:10.1002/jcp.27362
- İşoğlu, İ. A. (2019). Yara Örtü Malzemesi Olarak Elektroçirilmiş PCL/PHBV Membranların Hazırlanması ve Karakterizasyonu. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 1029-1044. doi:10.17798/bitlisfen.530767
- Kurtoğlu, A. H. ve Karataş, A. (2009). Yara tedavisinde güncel yaklaşımlar: Modern yara örtüleri. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 38(3), 211-232. doi:10.1501/Eczfak_0000000562
- Lee, C.-H., Hsieh, M.-J., Chang, S.-H., Lin, Y.-H., Liu, S.-J., Lin, T.-Y., Juang, J.-H. (2014). Enhancement of Diabetic Wound Repair Using Biodegradable Nanofibrous Metformin-Eluting Membranes: *In Vitro* and *in Vivo*. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 6(6), 3979–3986. doi:dx.doi.org/10.1021/am405329g
- Merrell, J. G., McLaughlin, S. W., Tie, L., Laurencin, C. T., Chen, A. F. ve Nair, L. S. (2009). Curcumin-loaded poly(ϵ -caprolactone) nanofibres: Diabetic wound dressing with anti-oxidant and anti-inflammatory properties. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 36(12), 1149-1156. doi:10.1111/j.1440-1681.2009.05216.x
- Miguel, S. P., Figueira, D. R., Simões, D., Ribeiro, M. P., Coutinho, P., Ferreira, P. ve Correia, I. J. (2018). Electrospun polymeric nanofibres as wound dressings: A review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 169, 60-71. doi:10.1016/j.colsurfb.2018.05.011
- Mohtaram, N. K., Ko, J., Agbay, A., Rattray, D., Neill, P. O., Rajwani, A., Willerth, S. M. (2015). Development of a glial cell-derived neurotrophic factor-releasing artificial dura for neural tissue engineering applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 3(40), 7974-7985. doi:10.1039/C5TB00871A
- Moyer, J. R. ve Brown, T. H. (1998). Methods for whole-cell recording from visually preselected neurons of perirhinal cortex in brain slices from young and aging rats. *Journal of Neuroscience Methods*, 86(1), 35-54. doi:10.1016/S0165-0270(98)00143-5
- Niemczyk-Soczynska, B., Gradys, A. ve Sajkiewicz, P. (2020). Hydrophilic Surface Functionalization of Electrospun Nanofibrous Scaffolds in Tissue Engineering. *Polymers*, 12(11), 2636. doi:10.3390/polym12112636
- Oliveira, J. E., Mattoso, L. H. C., Orts, W. J. ve Medeiros, E. S. (2013). Structural and Morphological Characterization of Micro and Nanofibers Produced by Electrospinning and Solution Blow Spinning: A Comparative Study. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013, 1-14. doi:10.1155/2013/409572
- Patel, G. C. ve Yadav, B. K. (2018). Polymeric nanofibers for controlled drug delivery applications. *Organic Materials as Smart Nanocarriers for Drug Delivery* içinde (ss. 147-175). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-813663-8.00004-X
- Ranjbar-Mohammadi, M. ve Bahrami, S. H. (2016). Electrospun curcumin loaded poly(ϵ -caprolactone)/gum tragacanth nanofibers for biomedical application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 448-456. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.12.024
- Rüzgar, G., Birer, M., Tort, S. ve Acartürk, F. (2013). Studies on Improvement of Water-Solubility of Curcumin With Electrospun Nanofibers. *FABAD J. Pharm. Sci* 38(3), 143-149.
- Sadri, M., Mohammadi, A. ve Hosseini, H. (2016). Drug release rate and kinetic investigation of composite polymeric nanofibers. *Nanomed Res J*, 1(2), 112-121. doi:10.7508/nmrj.2016.02.008
- Saka, R., Sathe, P. ve Khan, W. (2019). Brain local delivery strategy. H. Gao ve X. Gao (Ed.), *Brain Targeted Drug Delivery System: A Focus on Nanotechnology and Nanoparticulates* içinde (ss. 241-286). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-814001-7.00011-1
- Shokrollahi, M., Bahrami, S. H., Nazarpak, M. H. ve Solouk, A. (2020). Multilayer nanofibrous patch comprising chamomile loaded carboxyethyl chitosan/poly(vinyl alcohol) and polycaprolactone as a potential wound dressing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 547-559. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.01.067
- Turanli, Y. ve Acartürk, F. (2018). Nanofibers and Applications as Colon Specific Drug Delivery System. *Journal of Literature Pharmacy Sciences*, 7(1), 11-23. doi:10.5336/pharmsci.2017-56338
- Wang, Q., Ye, L., Wang, L., Li, P., Cao, Y. ve Li, Y. (2016). Rapid nanopatterning technique based on monolayer silica nanosphere close-packing by spin coating. *Science China Technological Sciences*, 59(10), 1573-1580. doi:10.1007/s11431-016-0316-2
- Wen, H., Jung, H. ve Li, X. (2015). Drug Delivery Approaches in Addressing Clinical Pharmacology-Related Issues: Opportunities and Challenges. *The AAPS Journal*, 17(6), 1327-1340. doi:10.1208/s12248-015-9814-9
- Xie, Z., Paras, C. B., Weng, H., Punnakitikashem, P., Su, L.-C., Vu, K., ... Nguyen, K. T. (2013). Dual growth factor releasing multi-functional nanofibers for wound healing. *Acta Biomaterialia*, 9(12), 9351-9359. doi:10.1016/j.actbio.2013.07.030
- Yu, D. G., Branford-White, C., White, K., Li, X.-L. ve Zhu, L.-M. (2010). Dissolution Improvement of Electrospun Nanofiber-Based Solid Dispersions for Acetaminophen. *AAPS PharmSciTech*, 11(2), 809-817. doi:10.1208/s12249-010-9438-4
- Yu, M., Huang, J., Zhu, T., Lu, J., Liu, J., Li, X., ... Liu, F. (2020). Liraglutide-loaded PLGA/gelatin electrospun nanofibrous mats promote angiogenesis to accelerate diabetic wound healing via the modulation of miR-29b-3p. *Biomaterials Science*, 8, 4225-4238. doi: /10.1039/D0BM00442A
- Zhang, J., Duan, Y., Wei, D., Wang, L., Wang, H., Gu, Z. ve Kong, D. (2011). Co-electrospun fibrous scaffold-adsorbed DNA for substrate-mediated gene delivery. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 96A(1), 212-220. doi:10.1002/jbm.a.32962



An Experimental Study of the Effects of Ceramic Composition on the Electrical and Thermal Properties of Al/SiC Composites

Murat Aydın^{1*}

^{1*} Erciyes University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aeronautical Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3713-3029), aydin@erciyes.edu.tr

(First received 27 May 2021 and in final form 15 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.943506)

ATIF/REFERENCE: Aydın, M. (2021). An Experimental Study of the Effects of Ceramic Composition on the Electrical and Thermal Properties of Al/SiC Composites. *European Journal of Science and Technology*, (25), 721-726.

Abstract

Al/SiC metal-matrix composites were investigated through Differential Thermal Analysis device as a function of volume fraction of SiC particles and sample temperature ranging 273 K to 373 K. It was found that electrical resistivity increased with increasing sample temperature and volume fraction of SiC. In contrast to electrical resistivity, electrical conductivity decreased with increasing sample temperature and volume fraction of SiC. Electrical conductivity decreased from $1,8 \times 10^7$ 1/ohm.m to 2×10^6 1/ohm.m as the volume fraction of SiC increased to 60%. On the other hand, thermal conductivity decreased with increasing volume fraction of SiC particles, while being almost insensitive to temperature change between 273 K to 373 K. Thermal conductivity decreased from 120 W/mK to 10 W/mK as the volume fraction of SiC increased to 60%.

Keywords: Metal-Matrix composites, Electrical conductivity, Thermal conductivity, Al/SiC

Al/SiC Kompozit Malzemelerde Seramik Bileşenin Hacimsel Oranının Elektriksel ve Isıl Özellikler Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelemesi

Öz

Bu çalışmada Al/SiC metal matris kompozit malzemelerde, seramik bileşenin hacimsel değişiminin elektriksel ve ısı iletkenlik üzerindeki etkileri 273K- 373K sıcaklık aralığında, deneysel olarak ile incelenmiştir. Test sonuçlarında, sıcaklığın ve seramik bileşenin hacimsel oranının artmasıyla elektriksel direncin arttığı ve elektriksel iletkenliğin azaldığı görülmüştür. Seramik bileşenin yapı içerisindeki hacimsel oranı %60'a artması ile elektriksel iletkenlik $1,8 \times 10^7$ 1/ohm.m değerinden 2×10^6 1/ohm.m değerine düşmüştür. Ayrıca metal matris kompozit malzemelerde seramik bileşenin artması ile termal iletkenliği azalmış olup 273 ila 373K arasındaki sıcaklık değişiminin ısı iletkenlik üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Seramik bileşenin hacimsel oranının %60'a çıkması ile ısı iletkenlik 120 W/mK değerinden 10 W/mK değerine düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Metal-Matris kompozitler, Elektriksel iletkenlik, Isıl iletkenlik, Al/SiC

* Corresponding Author: aydin@erciyes.edu.tr

1. Introduction

Metal matrix composites (MMCs) are class of metal that combines both metal and another material to improve current performance. These composites can be classified based on their matrix metals such as Cu-based, Al-based, Mg-based etc. while they can be named based on reinforcement type such as fiber reinforced, whisker reinforced, particle reinforced etc. (Mortensen & Llorca, 2010). MMCs have been attractive engineering materials due to many factors including having tailorable properties (e.g. Elastic modulus, strength etc.), being the only way to introduce ceramic particles such as carbide and oxide into metals for better performances for harsh environments. These advantages have led researches on MMCs to date starting from the late 1980s (Evans et al., 2003; Mortensen & Llorca, 2010).

Amongst MMCs, Al-matrix composites have been extensively studied due to low density and high ductility of Al. Addition of ceramic particles to Al metal generally increased mechanical properties in addition to corrosion and wear resistance of pure Al (Sahin & Murphy, 1996; Torres et al., 2002). Al_2O_3 and SiC have been the most widely used reinforcements introduced into Al to form Al-matrix MMCs (Lavernia et al., 1995). Owing to low cost and better mechanical properties in addition to high temperature stability (Khadem et al., 2011), SiC has been more attractive as a reinforcement material (Ünlü, 2008; Xiong et al., 2011). Effects of SiC particles on the mechanical properties of Al/SiC MMCs have been extensively studied. It was found that strength and hardness levels increased with increasing volume fraction of SiC, while impact toughness is inversely proportional (Ozben et al., 2008). It was also shown that impact properties of Al/SiC MMC are strongly affected by matrix-reinforcement bonding and particle cracking (Ozden et al., 2007). Aging process was found to be effective on the fatigue life of Al/SiC MMCs. It was observed that peak aged MMCs showed less fatigue life degradation compared to under-aged conditions (Srivatsan et al., 2005). Effect of particle clustering and random distribution of SiC studies showed that microstructures having clustered particles experienced more extensive particle fracture compared to the microstructures with randomly distributed SiC particles under tensile loading (Peng & Fuguo, 2010).

Besides mechanical properties, thermal and electrical properties have utmost importance for engineering applications pointing to thermal and electrical management. One of these engineering applications is electronic packaging owing to lightweight, low cost and good physical properties (Lee, 2000). Additionally, pliable manufacturing creates advantages on tailoring physical properties such as thermal and electrical conductivity. Up to date, many electronic packaging applications have been realized using MMCs (Guo et al., 2014; Zweben, 1992) such as microwave housing with Al/SiC. For tailorable thermal and electrical properties, it is critical to control volume fraction of SiC particles in the microstructure. Because these properties are highly sensitive to the volume fraction of ceramic and metal in an MMC. In general, thermal, and electrical conductivity values of Al/SiC MMCs decreased with increasing volume fraction of SiC particles (Lee, 2000; Weber et al., 2010). High volume fraction (e.g. > 50%) of SiC particles is important to reduce the coefficient of thermal expansion (CTE) for having a material that has comparable thermal properties with

conventional thermal controlling materials such as alumina and semiconductors (Lee, 2000).

This study aims to contribute to the research literature on the thermal and electrical properties of Al/SiC metal matrix composites. Al/SiC MMCs with volume fractions of ceramic particles ranging from 0-60%. Electrical and thermal properties were characterized through Differential Thermal Analysis. It was found that electrical resistivity increased with increasing volume fraction of SiC. On the other hand, electrical and thermal conductivity values decreased with increasing volume fraction of SiC particles. A maximum electrical conductivity of $1,8 \times 10^7$ 1/ohm.m was achieved for pure Al, where the maximum thermal conductivity was 120 W/mK. As the volume fraction of SiC increased to 60%, the electrical conductivity and thermal conductivity values decreased to 2×10^6 1/ohm.m and 10 W/mK, respectively. Electrical conductivity decreased with increasing sample temperature, while a slight increase was observed in thermal conductivity with increasing temperature.

2. Experimental Procedure

The MMC composites were produced by a powder stacking-hot pressing method using Al and SiC powders. Maximum particle diameter of Al spherical powders was $44\mu\text{m}$, where maximum powder diameter of spherical SiC powders was $10\mu\text{m}$. The metal and ceramic powders were mechanically blended for 3 hours to obtain a homogeneous mixture followed by pouring the mixture into sintering mold. The sintering process was conducted at 600°C under 100MPa for 90min. A vacuum and argon atmosphere were used to prevent oxidation during sintering. Figure 1 shows the processing steps of Al-SiC metal matrix composites.

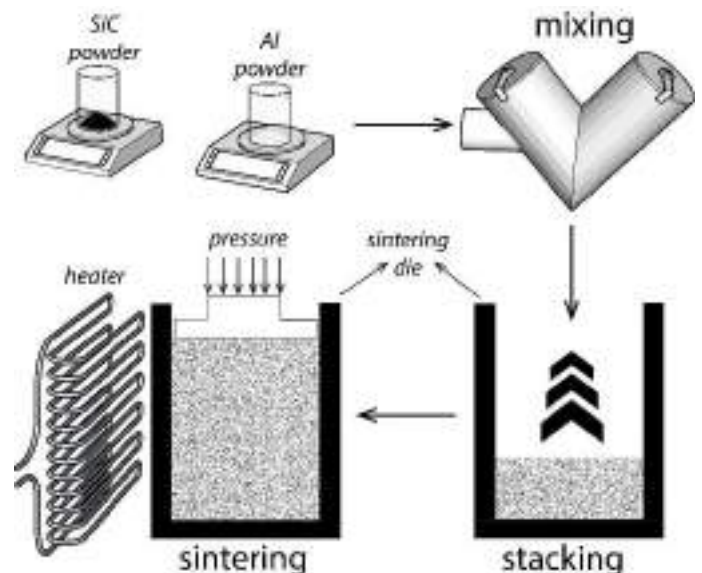


Figure 1. The production process of metal matrix composites by powder stacking hot pressing technique.

The high temperature phase analysis of Al-SiC composites were made by using the Perkin Elmer Diamond Differential Thermal Analysis device. All thermal analysis was made at the heating rate of 20 K/min. in pure nitrogen atmosphere. The electrical resistivity vs. temperature was carried out for the samples using (CRYO Industries of America Model No: REF-2261-202HT) with 4 K/min heating rate under vacuum between 273K and 373K temperature range.

3. Results and Discussion

Figure 2 shows microstructures of Al/SiC composites as a function of volume fraction of SiC. It is clear that as the volume fraction of SiC increases, white areas (Al matrix) decrease compared to dark areas (SiC particles). Al and SiC areas are marked on the image.

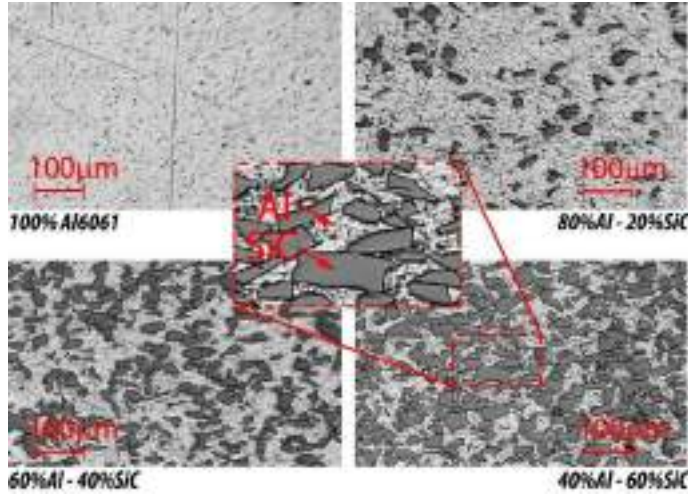


Figure 2. Microstructure of Al/SiC composites as a function of SiC

Figure 3 shows differential thermal analysis results of all composite materials. The samples were thermally cycled under zero stress between temperatures of 293 and 1073K. It is evident that aluminum phase conversion value decreased as the volume fraction of SiC particles increased. When the SiC ratio was 60%, it was determined that there were two phase transformations in succession. The first of these two-phase transformations was the eutectoid Si phase transformation and the other phase transformation was a phase transformation from solid to liquid (Ravi et al., 2007; B. Singh et al., 2013; V. K. Singh et al., 2014).

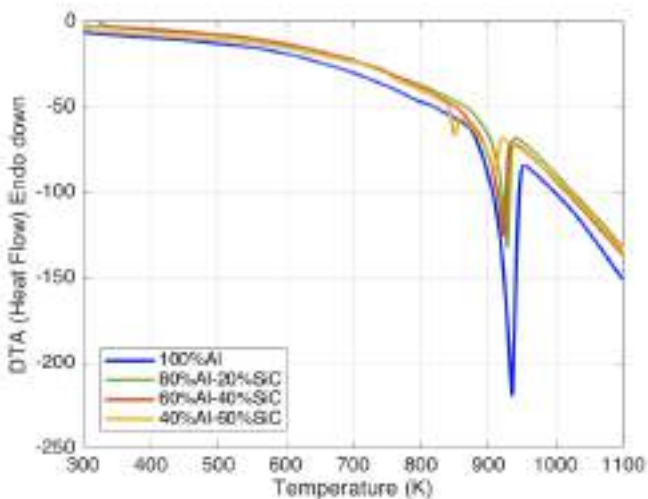


Figure 3. DTA thermograms of Al/SiC composite materials

Table 1 shows the melting temperature and phase transformation enthalpy values of the Al/SiC composites related to chemical compositions. It is clear that the melting temperatures and phase transformation enthalpy values decreased with increasing volume fraction of SiC particles. The decrease of the melting temperatures with increasing SiC content is in good agreement with the literature. Singh et al. also saw

that the value of melting temperature decreased with the contribution of SiC in Al-SiC composite (V. K. Singh et al., 2014).

The enthalpy values also decreased with increasing SiC. This might be due to the decrease in Al content in the composites. Since the only phase transformable material is Al in the studied temperature range, the phase transformation enthalpy is directly linked to the amount of Al metal in the composites. Decreased Al content resulted in a decrease in the enthalpy values.

Table 1. DTA results of Al/SiC composite materials.

Composition	Melting point (K)	Enthalpy ($\mu V.s/mg$)
%100 Al	935.1	374.0
%80 Al-%20 SiC	928.3	312.0
%60Al-%40 SiC	923.6	218.3
%40Al-%60 SiC	909.7	90.6

Figure 4 shows electrical resistivity values of Al/SiC composites as a function of temperature ranging 273K to 373K. Electrical resistivity (ρ) value was measured directly by using a cryostat system. The electrical resistivity value increases with increasing SiC ratio in the Al-SiC composite. This increase has gained significant momentum with the SiC ratio being a matrix. If we examine the variation of the electrical resistance with temperature for each composite, it was concluded that the resistance value between 273K and 373K did not vary significantly.

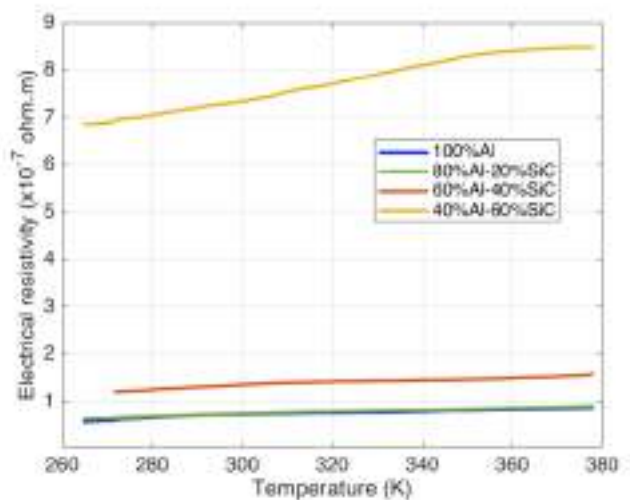


Figure 4. Electrical resistivity of Al/SiC composites as a function of temperature.

Figure 5 shows the electrical conductivity change of Al/SiC composites by temperature. The electrical conductivity (σ) value was calculated by the formula ($\sigma=1/\rho$). In contrast to the electrical resistance of composites, their electrical conductivity and thermal conductivity have been shown to decrease with increasing SiC contribution. Since the SiC particles are non-conducting parts of the Al/SiC composites, the dependence of the electrical conductivity on the volume fraction of SiC ceramic particles can be explained based on the differential effective medium scheme, which is widely used in modeling of conductivity of metal matrix composites reinforced by non-conductive particles such as SiC (Weber et al., 2003). Differential effective medium scheme can be to explain the

relationship between volume fraction of matrix and electrical conductivity as follows:

$$\sigma_c = \sigma_m V_m^n$$

where σ_c is conductivity of composite, σ_m is conductivity of matrix, V_m is volume fraction of matrix and n is a parameter related to particle shape. Therefore, as the volume fraction of metal matrix increases in a composite, electrical conductivity increases. In other words, electrical conductivity decreases as the volume fraction of non-conductive reinforcement increases based on the formula above.

As mentioned above, electrical resistivity is strongly dependent on temperature change in metallic materials. Electrical resistivity increases with increasing sample temperature. This fact is usually expressed by (Kahveci et al., 2019):

$$\rho_s = \rho_o [1 + \alpha(T - T_o)]$$

where ρ_s is electrical resistivity at temperature T , ρ_o is electrical resistivity at room temperature, α is electrical resistivity coefficient and T_o is room temperature. Based on the formula, electrical resistivity increases with increasing temperature as shown in Figure 4. Since the thermal conductivity is calculated by taking the inverse of electrical resistivity, it is expected that electrical conductivity decreased by increasing temperature.

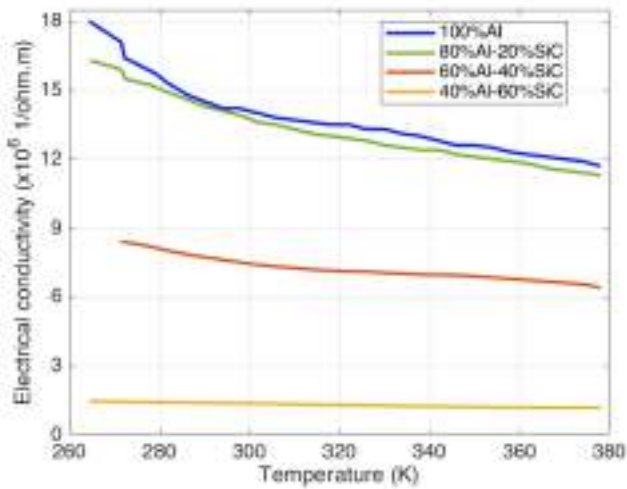


Figure 5. Electrical conductivity of Al/SiC composites as a function of temperature.

Figure 6 shows thermal conductivity values as a function of temperature in Al/SiC composites. The thermal conductivity values were calculated using Wiedemann-Franz law.

Wiedemann-Franz law is a law derived from the kinetic theory of gases, but it is applied for solid materials. According to this law, there is a relation between thermal conductivity and electrical conductivity as follows.

$$\sigma = \frac{K}{LT}$$

In this equation, K is the thermal conductivity of the sample, L is Lorenz number, T is the temperature in kelvin and σ is the electrical conductivity of that sample. L is almost equal to $2.44 \times 10^{-7} \text{ W}\Omega/\text{K}^2$ for metals and semiconductors (Bevington &

Han Kim, 1979; Krishnamachar, 2018; Patel et al., 2013; Yi et al., 2020).

It is clear that thermal conductivity values decreased by increasing volume fraction of SiC particles. In contrast to electrical conductivity results in Figure 6, thermal conductivity values were not generally sensitive to change of sample temperature.

It is known that heat is conducted through two main mechanisms, which are electrons mobility and phonon vibrations (Polat et al., 2019). In metals, electrons mobility is more dominant mechanism in heat conduction compared to phonon vibrations. In ceramics, the responsible mechanism for heat conduction is phonon vibration, since there are no free electrons to conduct heat from one place to another. On the other hand, ceramic materials are known to have lower thermal conductivity compared to metals, due to scattering of phonon vibrations in ceramics (Salaway et al., 2008). Thus, thermal conductivity values decreased with increasing volume fraction of SiC in the current Al/SiC composites.

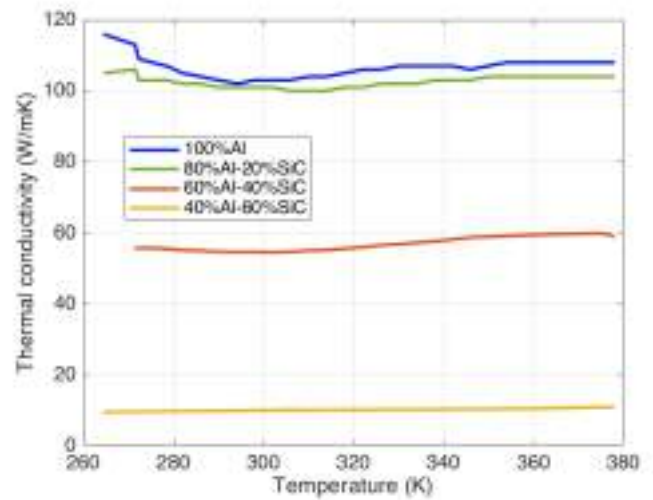


Figure 6. Thermal conductivity of Al/SiC composites as a function of temperature.

On the other hand, it's previously reported that an increase in the volume fraction of porosity in metal matrix composites resulted in a decrease of thermal conductivity values. The volume fraction of voids is expected to increase with increasing volume fraction of SiC particles in the current Al/SiC composites. Since none of the two heat conductive mechanisms, electrons mobility or phonon vibration, operates in voids, an increase of voids in microstructure results in a decrease in thermal conductivity values in Al/SiC composites as previously observed (Cem Okumus et al., 2012). The relationship between porosity and thermal conductivity can be expressed by the following formula (Kobayashi et al., 2013).

$$k_m^p = k_m \left[\frac{1 - V_p}{1 + V_p} \right]$$

where k_m^p and k_m are thermal conductivities of matrix with and without porosity, respectively and V_p is the volume fraction of porosity in microstructure. As clear from the formula, as the volume fraction of porosity increases in a microstructure of composite, the thermal conductivity of the matrix decreases. Additionally, the occurrence of interface reactions with increasing SiC ratio may cause the thermal conductivity value to

decrease with the SiC additive in Al-SiC composites. The same reasons are thought to be the factors that decrease the electrical conductivity of the composite and increase the electrical resistance.

4. Conclusions

Differential Thermal Analysis method was used to characterize thermal and electrical properties of Al/SiC composites with volume fraction of SiC particles reaching to 60% as a function temperature ranging 273K to 373K. Based on the experimental results, it was observed that electrical resistivity increased with increasing sample temperature and volume fraction of SiC ceramic particles. On the contrary, electrical conductivity was found to be decreased with increasing sample temperature and volume fraction of SiC. Electrical conductivity decreased to 2×10^6 1/ohm.m as the volume fraction of SiC increased to 60%. Thermal conductivity was observed to be decreased with increasing volume fraction of SiC ceramic particles and was nearly not dependent on temperature change between 273K to 373K. A minimum thermal conductivity of 10 W/mK was observed as the volume fraction of SiC was 60%.

References

- B. Torres, M. Lieblich, J. Ibáñez, & A. García-Escorial (2002). Mechanical properties of some PM aluminide and silicide reinforced 2124 aluminium matrix composites. *Scripta Materialia*, 47(1), 45-49.
- Bekir Sadık Ünlü (2008). Investigation of tribological and mechanical properties Al₂O₃-SiC reinforced Al composites manufactured by casting or P/M method. *Materials & Design*, 29(10), 2002-2008.
- Bevington, R., & Han Kim (1979). Thermophysical Properties of Ag-CdO Composite Materials. *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, 2(1), 46-51.
- Bowen Xiong, Zhifeng Xu, Qingsong Yan, Baiping Lu, & Changchun Cai (2011). Effects of SiC volume fraction and aluminum particulate size on interfacial reactions in SiC nanoparticulate reinforced aluminum matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(4), 1187-1191.
- Cem OKUMUS, S., Aslan, S., Karşlioglu, R., Gultekin, D., & Akbulut, H. (2012). Thermal Expansion and Thermal Conductivity Behaviors of Al-Si/SiC/graphite Hybrid Metal Matrix Composites (MMCs). *Materials Science*, 18(4), 341-346.
- Evans, A., San Marchi, C., & Mortensen, A. (2003). *Metal Matrix Composites in Industry An Introduction and a Survey* / by Alexander Evans, Christopher San Marchi, Andreas Mortensen.. Springer US : Imprint: Springer
- Hojoon Yi, Ji Yeon Kim, Hamza Zad Gul, Seungsu Kang, Giheon Kim, Eunji Sim, Hyunjin Ji, Jungwon Kim, Young Chul Choi, Won Seok Kim, & Seong Chu Lim (2020). Wiedemann-Franz law of Cu-coated carbon fiber. *Carbon*, 162, 339-345.
- K Srinivas, M S Bhagyashekar, & B G Darshan (2018). *Journal of Polymer & Composites Effect of Fillers on Electrical Conductivity of Epoxy Composites*, 6(3).
- Kahveci, O., Çadirli, E., Arı, M., Tecer, H., & Gündüz, M. (2019). Measurement and Prediction of the Thermal and Electrical Conductivity of Al-Zr Overhead Line Conductors at Elevated Temperatures. *Materials Research*, 22(1), e20180513.
- L. Weber, J. Dorn, & A. Mortensen (2003). On the electrical conductivity of metal matrix composites containing high volume fractions of non-conducting inclusions. *Acta Materialia*, 51(11), 3199-3211.
- Lavernia, E., Perez, R., & Zhang, J. (1995). Damping behavior of discontinuously reinforced ai alloy metal-matrix composites. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 26(11), 2803-2818.
- Lee, H., Jeon, K., Kim, H., & Hong, S. (2000). Fabrication process and thermal properties of SiCp/Al metal matrix composites for electronic packaging applications. *Journal of Materials Science*, 35(24), 6231-6236.
- Manish Patel, V.V. Bhanu Prasad, & Vikram Jayaram (2013). Heat conduction mechanisms in hot pressed ZrB₂ and ZrB₂-SiC composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 33(10), 1615-1624.
- Ming-hai GUO, Jun-you LIU, & Yan-xia LI (2014). Microstructure and properties of SiCp/Al electronic packaging shell produced by liquid-solid separation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(4), 1039-1045.
- Mortensen, A., & Llorca, J. (2010). *Metal Matrix Composites. Annual Review of Materials Research*, 40(1), 243-270.
- Ravi, K., Pillai, R., Pai, B., & Chakraborty, M. (2007). A Novel Approach for Extracting and Characterizing Interfacial Reaction Products in Al-SiCpComposites. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 38(7), 1666-1670.
- S.A. Khadem, S. Nategh, & H. Yoozbashizadeh (2011). Structural and morphological evaluation of Al-5vol.%SiC nanocomposite powder produced by mechanical milling. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(5), 2221-2226.
- Safa Polat, Yavuz Sun, Engin Çevik, & Hendrik Colijn (2019). Evaluation of thermal conductivity of GNPs-doped B₄C/Al-Si composites in terms of interface interaction and electron mobility. *Diamond and Related Materials*, 98, 107457.
- Sahin, Y., & Murphy, S. (1996). The effect of fibre orientation of the dry sliding wear of borsic-reinforced 2014 aluminium alloy. *Journal of Materials Science*, 31(20), 5399-5407.
- Salaway, R., Hopkins, P., Norris, P., & Stevens, R. (2008). Phonon Contribution to Thermal Boundary Conductance at Metal Interfaces Using Embedded Atom Method Simulations. *International Journal of Thermophysics*, 29(6), 1987-1996.
- Sedat Ozden, Recep Ekici, & Fehmi Nair (2007). Investigation of impact behaviour of aluminium based SiC particle reinforced metal-matrix composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(2), 484-494.
- Singh, B., Kumar, J., & Kumar, S. (2013). Investigating the Influence of Process Parameters of ZNC EDM on Machinability of A6061/10% SiC Composite. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013, 173427.
- Singh, V., Chauhan, S., Gope, P., & Chaudhary, A. (2014). Enhancement of Wettability of Aluminum Based Silicon Carbide Reinforced Particulate Metal Matrix Composite. *High Temperature Materials and Processes*, 34(2): p. 163-170.
- T.S. Srivatsan, Meslet Al-Hajri, & V.K. Vasudevan (2005). Cyclic plastic strain response and fracture behavior of 2009 aluminum alloy metal-matrix composite. *International Journal of Fatigue*, 27(4), 357-371.

- Tamer Ozben, Erol Kilickap, & Orhan akır (2008). Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC. *Journal of Materials Processing Technology*, 198(1), 220-225.
- Tomohiro Kobayashi, Katsumi Yoshida, & Toyohiko Yano (2013). Microstructure, mechanical and thermal properties of B4C/CNT composites with Al additive. *Journal of Nuclear Materials*, 440(1), 524-529.
- Weber, L., Sinicco, G., & Molina, J. (2010). Influence of processing route on electrical and thermal conductivity of Al/SiC composites with bimodal particle distribution. *Journal of Materials Science*, 45(8), 2203–2209.
- Zhang Peng, & Li Fuguo (2010). Effects of Particle Clustering on the Flow Behavior of SiC Particle Reinforced Al Metal Matrix Composites. *Rare Metal Materials and Engineering*, 39(9), 1525-1531.
- Zweben, C. (1992). Metal-matrix composites for electronic packaging. *JOM*, 44(7), 15–23.



An Analytical Expression of the Photoacoustic Signal for A Pulsed Laser with A Sinusoidal Radial Profile

Hakan Erkol^{1*}

^{1*} Boğaziçi University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7579-9684), hakan.erkol@boun.edu.tr

(First received 27 May 2021 and in final form 15 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.943805)

ATIF/REFERENCE: Erkol, H. (2021). An Analytical Expression of the Photoacoustic Signal for A Pulsed Laser with A Sinusoidal Radial Profile. *European Journal of Science and Technology*, (25), 727-735.

Abstract

Photoacoustic signal depends on several laser factors, particularly the pulse duration, energy, wavelength, beam-width and repetition rate of the pulsed laser. Although these dependencies are well tested through experiments, they can also be investigated via theoretical approaches for the research into photoacoustic signal generation in parallel to advances in laser technologies. In this study, the photoacoustic signal is presented analytically by solving the photoacoustic wave equation for an optical absorber heated up by a pulsed laser. The spatial and temporal parts of the pulsed laser are modeled by a sampling (sinc) function and a Gaussian function, respectively. The radial profile obtained experimentally by using a spatial light modulator can be modeled accurately with a sampling function. Pulsed lasers can lead to nonlinear effects. This nonlinear mechanism has various advantageous for the photoacoustic imaging. These short-pulsed lasers have a close-to-sinusoidal variation in the central pulse region so that the spatial part of the laser is modeled by a sampling function in this work. For the photoacoustic wave, a detailed expression is obtained analytically in terms of the pulse duration and beam-width. The photoacoustic signal is observed in terms of time for various detector positions. Moreover, a detailed analysis is conducted to obtain a correlation between the photoacoustic signal and the laser factors. Therefore, the resulting quantification of the physical laser factors can offer a useful theoretical guide for the applications of photoacoustics. The sampling modeling presented by this study can also be helpful for the understanding of the nonlinear mechanism in photoacoustics.

Keywords: Photoacoustics, Laser Factors, Spatiotemporal Profile.

Sinüzoidal Uzaysal Kısmı Sahip Kısa Atımlı Lazer Işığının Meydana Getirdiği Fotoakustik Sinyalin Analitik Olarak İfadesi

Öz

Fotoakustik sinyal lazer ışığının atım süresi, enerjisi, dalgaboyu ve atım sıklığı gibi parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerin fotoakustik sinyal üzerindeki etkileri deneyler ile test edilebilmektedir. Bununla birlikte bu etkiler teorik yaklaşımlar aracılığıyla lazer teknolojilerine paralel olarak araştırılabilir. Bu çalışmada, Fourier dönüşümü yöntemi kullanılarak fotoakustik dalga denkleminin çözümleri oldukça kısa dalga boylu lazer ışığı tarafından uyarılmış küresel şekle sahip bir absorbe edici madde için elde edilmiştir. Darbeli lazerin uzaysal ve zamansal kısımları sırasıyla sinc ve Gaussian fonksiyonları ile modellenmiştir. Uzaysal ışık modülatörü kullanılarak deneysel olarak elde edilmiş olan darbeli lazerin radyal kısmı sinc fonksiyonu ile gerçeğe yakın olarak modellenmektedir. Ayrıca, darbeli lazerler lineer olmayan etkiler meydana getirirler. Lineer olmayan bu mekanizma fotoakustik görüntüleme tekniğinde bir takım avantajlara sahiptir. Darbeli lazerler merkezi atım bölgesinde sinüzoidal bir değişime sahiptir. Bundan dolayı bu çalışmada lazerin uzaysal kısmı sinc fonksiyonu ile tasvir edilmiştir. Lazer parametrelerini (atım süresi ve dalga genişliği) içeren ayrıntılı bir fotoakustik dalga (sinyal) ifadesi analitik olarak elde edilmiştir. Fotoakustik sinyal çeşitli dedektör pozisyonlarında (absorbe edici madde dışında) zamana bağlı olarak ifade edilmiştir. Ayrıca, yapılan analiz sonucunda fotoakustik sinyal ile lazer parametreleri arasında bir korelasyon olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak lazer parametrelerinin nicel olarak belirlenmesine imkan veren bu çalışma fotoakustik alanındaki uygulamalar için faydalı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Fotoakustik, Lazer Parametreleri, Uzaysal-Zamansal Profil.

* Corresponding Author: hakan.erkol@boun.edu.tr

1. Introduction

Photoacoustic effect (which is also known as optoacoustic effect) was first described by Alexander Graham Bell (Bell 1880). Pressure waves are generated because of the change in thermal energy in a very short time (thermal expansion) if a very short pulsed laser is sent into a turbid medium. Photoacoustic Imaging (PAI) utilizing the photon absorption to create a contrast between an absorbing medium and a non-absorbing medium is based on this phenomenon (Zhang et al. 2009). The photoacoustic pressure waves propagating through medium are acquired by ultrasonic transducers. In photoacoustic effect, the pulse duration has to be shorter than the thermal time and stress confinement time (Wang 2008). Photoacoustic imaging can be implemented as a tomographic imaging as well as a microscopic imaging (Zhang et al. 2009).

Photoacoustic imaging has a broad range of applications in biomedical sciences (Hutchins and Tam 1986; Tam 1986; Ripol and Ntziachristos 2005; Beard 2011; Lin 2018). Two main advantages of this imaging technique are the utilization of high optical contrast and high ultrasonic resolution so that this technique not only resolves cells but gives structural information as well (Wang 2004). Besides, it is safe for in vivo studies since it does not have an ionizing absorption mechanism. Therefore, photoacoustic imaging is a favourable imaging method for biomedical optics due to the aforementioned advantages (Xu and Wang 2006; Wang and Wu 2007).

Laser factors (such as beam-width, pulse repetition frequency, pulse duration, laser power) determine the resolution and contrast of photoacoustic imaging. Hence, an analytic expression for the pressure waves, which has explicit dependencies of the laser factors, can be very useful to determine the behavior of photoacoustic signals accurately for various imaging purposes. Photoacoustic wave equation has been solved analytically by modeling the source term (spatial and temporal parts of the pulsed laser) of the equation with the Dirac delta, Rectangular and Gaussian functions (Wang and Wu 2007; Diebold, Shan, and Khan 1991; Diebold and Westervelt 1988). Wang presented solutions to the photoacoustic wave equation for the spatial and temporal profiles which are both described by the Dirac delta functions since the interaction of the light with the medium is very localized (in both space and time) (Wang and Wu 2007). Even though the solution is very convenient for some applications of photoacoustics, it does not show any explicit dependencies of some of the laser factors (such as pulse duration or beam-width) on the photoacoustic signal.

Diebold et al. (1988) obtained not only solutions to the photoacoustic wave equation but also introduced theorems for an excitation resulted from a short pulsed laser incident upon a liquid. Diebold et al. (1988) studied the photoacoustic wave generation resulted from a spherical absorber. They presented photoacoustic wave expressions in the frequency and time domains for a pulsed laser approximated by a delta function. Lai et al. (2020) also derived a theory for an optoacoustic method utilizing short pulsed lasers for a weakly absorbing medium. They presented some analytical and numerical solutions for a Gaussian spatiotemporal profiles (both spatial and temporal parts are modeled by Gaussian functions). Their results are based on the far field approximation. Bai et al. (2018) also extended the photoacoustic theory to investigate the effects of a stratified atmosphere and a gravitational field on pressure waves. They

studied some properties of pressure waves due to the optical excitation.

In literature, the photoacoustic wave generation was generally described by modeling the source term of the wave equation (the product of the radial part and the temporal part of the laser) by Gaussian and/or delta functions and the solution to the wave equation was presented based on some analytical methods (such as Laplace Transform) (Calasso, Craig, and Diebold 2001; Hoelen et al. 1998; Sigrist and Kneubühl 1978; Kozhushko et al. 2004). Tabaru et al. (2018) analyzed frequency domain solutions to the acoustic wave equation, which is very useful in acoustic sensor design. In their studies, the temporal and the spatial profiles were represented by the Dirac delta and Gaussian functions (Tabaru et al. 2019; Tabaru, Hayber, Saracoglu 2018). In another study, Uluc et al. (2018) described the photoacoustic signal resulted from red blood cells moving in a microfluidic channel and presented a transport model for the characterization of red blood cells.

In photoacoustics, the radial and the temporal parts of the pulsed laser are usually described by the Dirac delta, Rectangular, and Gaussian functions because the interaction of the pulsed laser with the medium is very short ranged in both space and time. The explicit dependencies of some laser factors do not appear in the solution for the former two models. Especially for the delta function approach, there are no any explicit dependencies of the factors in the photoacoustic wave expression while there is a beam-width dependency in the wave expression when the spatial part of the laser is approximated by the rectangular function. In some cases (if the spatial profile is treated as uniform), it can be practical for the calculation point of view. Still, this model is not quite realistic. Nevertheless, the Gaussian model enables to observe explicit dependencies of the beam-width and pulse duration on the photoacoustic signal emitted from the absorber. However, the solutions for the Gaussian spatial and temporal profiles are mainly obtained for various approximations such as the far-field approximation.

In this study, the photoacoustic wave equation is solved analytically for a spherical absorber. The temporal part of the pulsed laser is modeled with a Gaussian function, which leads to an explicit pulse duration dependency on the signal. The spatial part of the laser is described by a sampling (sinc) function which enables to observe a direct dependency of the beam-width on the signal. For very small values of the beam-width, the profile behaves like a Gaussian (and also like a delta function). At the same time, its behavior becomes very similar to the rectangular profile when the beam-width is large enough provided that it does not violate the thermal expansion condition. This sampling modeling can also be used to describe the radial profile obtained experimentally resulted from a spatial light modulator. First of all, an exact and detailed frequency domain solution is obtained by utilizing the Fourier transform and the Greens' function methods. Later, the corresponding time domain solution is found by using the inverse Fourier transform. The only assumption is that the solution has a spherical symmetry (it is independent from the azimuthal angle, which is quite realistic.). The applicability of this method presented in this study is analyzed by first obtaining the photoacoustic waves and then by plotting the signal versus time for various locations. The results of this method are also compared with some other work's (delta function approach) results in some limit case (when the beam-width is very small). This comparison shows that the results obtained by the two methods are almost in a perfect agreement. The effects of the laser factors; beam-width

and pulse duration, on the photoacoustic wave are investigated as well.

The nonlinear mechanisms in the field of photoacoustics present various advantages, such as enhancement of imaging contrast, measurement of temperature of tissue, acquiring super-resolution images, and obtaining important physical parameters (Gao et al. 2021). Nanosecond (also picosecond) pulsed lasers are employed as excitation sources to produce nonlinear effects in tissue. These types of laser sources have a close-to-sinusoidal variation in the central pulse region which can be modeled by a sampling function (Gao et al. 2021; Audo et al. 2017; Gusev and Chigarev 2010). In this work, a sampling approach based on a simple observation of typical excitation sources is presented. A correlation between the photoacoustic signal and the laser factors by using the Greens' function method is obtained. Analytic expressions of the signal for the potential applications of these types of laser sources can be helpful for the understanding of this nonlinear mechanism in this field. Therefore, this sampling function modeling can be useful in photoacoustics.

2. Material and Method

The photoacoustic pressure wave is described by the following differential equation.

$$(\nabla^2 - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2})p(\mathbf{r}, t) = -\frac{\beta}{\kappa v^2} \frac{\partial^2 T(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

Where v , $p(r;t)$, β , κ , and $T(r;t)$ are the speed of sound, the photoacoustic pressure wave, the thermal coefficient of volume expansion, isothermal compressibility, and the increase in temperature at position r and time t , respectively (Wang 2008). The left hand side of equation (1) represents the propagation of the pressure wave while the right hand side of equation (1) represents the source associated with the pulsed laser. If the pulsed laser is sufficiently short, the thermal equation has the following form

$$\rho C_V \frac{\partial T(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = H(\mathbf{r}, t). \quad (2)$$

Here, H is defined as the heating function which is the thermal energy produced by the absorption of the laser light per unit volume and per unit time (the product of the optical absorption coefficient μ_a and the light fluence F , $H = \mu_a F$), ρ and C_V are the density and the specific heat capacity at constant volume, respectively (Wang 2008; Wang and Wu 2007).

In the photoacoustic effect, both the acoustic confinement time and the thermal confinement time are longer than the pulse duration of the laser. Hence, the laser pulse has to be sufficiently short. Therefore, the photoacoustic wave equation takes the following form

$$(\nabla^2 - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2})p(\mathbf{r}, t) = -\frac{\beta}{C_P} \frac{\partial H(\mathbf{r}, t)}{\partial t}. \quad (3)$$

The source term of equation (3) is described by

$$S(\mathbf{r}, t) \equiv -\frac{\beta}{C_P} \frac{\partial H(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \quad (4)$$

where the heating function $H(r;t)$ is modeled as a product of the spatial $A(r)$ and the temporal $H(t)$ parts

$$H(\mathbf{r}, t) = A(\mathbf{r})H(t). \quad (5)$$

If the pulsed laser is quite confined in time, its temporal profile can be modeled by a Gaussian function

$$H(t) = \frac{\exp(-\frac{t^2}{2\tau^2})}{\sqrt{2\pi\tau^2}}. \quad (6)$$

Here, τ is the pulse duration. If the stress confinement condition is met (i.e., the stress relaxation time is much greater than the pulse duration), the increase in the initial pressure, $p_0(r)$, immediately after the laser incident on the absorber, is given by (Wang 2008; Wang and Wu 2007)

$$p_0(\mathbf{r}) = \frac{\beta T(\mathbf{r})}{\kappa}. \quad (7)$$

Here, the increase in temperature can be described by

$$T(\mathbf{r}) = \frac{A(\mathbf{r})}{\rho C_V} \quad (8)$$

if all of the energy of the laser pulse is transformed into the thermal energy and the nonthermal relaxation is ignored. Incorporating equations (7) and (8) and writing

$$\kappa = \frac{C_P}{\rho v^2 C_V} \quad (9)$$

yields

$$A(\mathbf{r}) = \frac{p_0(\mathbf{r}) C_P}{v^2 \beta}. \quad (10)$$

Writing equation (10) into equation (5) gives

$$\begin{aligned} S(\mathbf{r}, t) &= -\frac{p_0(\mathbf{r})}{v^2} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\exp(-\frac{t^2}{2\tau^2})}{\sqrt{2\pi\tau^2}} \right] \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\tau^3}} \frac{p_0(\mathbf{r})}{v^2} t \exp(-\frac{t^2}{2\tau^2}). \end{aligned} \quad (11)$$

Taking the Fourier transform of the source $S(r;t)$ leads to

$$\begin{aligned} \tilde{S}(\mathbf{r}, \omega) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\tau^3}} \frac{p_0(\mathbf{r})}{v^2} \int_{-\infty}^{\infty} t \exp(-\frac{t^2}{2\tau^2}) \exp(i\omega t) dt \\ &= \frac{i}{\sqrt{2\pi}} \frac{p_0(\mathbf{r})}{v^2} \omega \exp(-\frac{\tau^2 \omega^2}{2}). \end{aligned} \quad (12)$$

Therefore, photoacoustic wave equation (1) is written as

$$\nabla^2 \tilde{p}(\mathbf{r}, \omega) + \frac{\omega^2}{v^2} \tilde{p}(\mathbf{r}, \omega) = i \frac{p_0(\mathbf{r})}{v^2} \omega \exp(-\frac{\tau^2 \omega^2}{2}) \quad (13)$$

in the frequency domain by utilizing the following Fourier transform:

$$p(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{p}(\mathbf{r}, \omega) \exp(-i\omega t) d\omega. \quad (14)$$

In unbounded space, equation (13) has the following Greens' function (Morse and Feshbach 1953)

$$\tilde{G}(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; \omega) = -\frac{1}{4\pi |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \exp(i\frac{\omega}{v} |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|). \quad (15)$$

Evaluation of the following integral

$$\tilde{p}(\mathbf{r}, \omega) = \int \tilde{G}(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; \omega) \tilde{S}(\mathbf{r}'; \omega) d^3 r' \quad (16)$$

yields the photoacoustic wave in the frequency domain. Substituting equations (12) (the source term) and (15) (the Greens' function) into equation (16) leads to

$$\tilde{p}(\mathbf{r}, \omega) = -\frac{i}{4\pi} \frac{\omega}{v^2} \exp(-\frac{\tau^2 \omega^2}{2}) \int p_0(r') \frac{\exp(i\frac{\omega}{v} |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} d^3 r'. \quad (17)$$

Now, the initial pressure generated inside a spherical-like absorber due to the pulsed laser irradiation is modeled by the following expression

$$p_0(r) = p_0 U(r) U(-r + R) \quad (18)$$

where U denotes the Heaviside step function. The radial absorption profile is the first time described by a sampling function, which is a more realistic and comprehensive approach than the models mainly used in the literature such as the Dirac delta and uniform radial profile models

$$p_0(r) = p_0 \text{sinc}(\frac{r}{\sigma}) U(r) U(-r + R) \quad (19)$$

where $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$, and σ is the beam-width of the laser. The solution in the frequency domain can be found by substituting equations (12), (15), and (19) into equation (16)

$$\begin{aligned} \tilde{p}(r, \omega) = & -\frac{i p_0 \omega}{4\pi v^2} \exp(-\frac{\tau^2 \omega^2}{2}) \\ & \times \int_0^{2\pi} d\phi' \int_0^R \text{sinc}(\frac{r}{\sigma})(r')^2 dr' \\ & \times \int_{-1}^1 \frac{\exp(i\frac{\omega}{v} |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} d\eta'. \end{aligned} \quad (20)$$

Here, r is taken to be along z axis, $|\mathbf{r} - \mathbf{r}'| = (r + r' - 2 r r' \eta)^{1/2}$, and e -ISSN: 2148-2683

$\eta = \cos\theta$. The calculation of the integral over η' on the right hand side of equation (20) gives

$$\begin{aligned} & \int_{-1}^1 \frac{\exp[i\frac{\omega}{v}(r^2 + r'^2 - 2rr'\eta')^{1/2}]}{(r^2 + r'^2 - 2rr'\eta')^{1/2}} d\eta' = \\ & -\frac{1}{i r r' \frac{\omega}{v}} \{ \exp[i\frac{\omega}{v}(r - r')] - \exp[i\frac{\omega}{v}(r + r')] \}. \end{aligned} \quad (21)$$

The frequency domain solution is obtained by writing the result of the integral in equation (21) into equation (20)

$$\begin{aligned} \tilde{p}(r, \omega) = & \frac{p_0}{2\pi} \frac{1}{v r} \exp[-\frac{\tau^2 \omega^2}{2}] \{ \int_0^R r' \text{sinc}(\frac{r'}{\sigma}) \\ & \times [\exp[i\frac{\omega}{v}(r - r')] - \exp[i\frac{\omega}{v}(r + r')]] dr' \}. \end{aligned} \quad (22)$$

Here, $r > R$ or $r > r'$ (r can be considered as a detector position which is outside the photoacoustic absorber). Therefore, the solution becomes

$$\begin{aligned} \tilde{p}(r, \omega) = & \frac{p_0}{2\pi r} \frac{\sigma^2}{(v^2 - \sigma^2 \omega^2)} \\ & \times \exp[-\frac{\tau^2 \omega^2}{2} + \frac{i\omega(r - R)}{v}] \\ & \times \{ v \cos(\frac{R}{\sigma}) [-1 + \exp(\frac{2iR\omega}{v})] - \\ & i\sigma \omega \sin(\frac{R}{\sigma}) [1 + \exp(\frac{2iR\omega}{v})] \}. \end{aligned} \quad (23)$$

By taking the inverse Fourier transform of equation (23), the time domain solution can be obtained as follows

$$\begin{aligned} p(r, t) = & \frac{p_0}{2\sqrt{2\pi}} \frac{1}{v r} \\ & \times \int_0^R r' \text{sinc}(\frac{r'}{\sigma}) \\ & \times \int_{-\infty}^{\infty} \{ \exp[-\frac{\tau^2 \omega^2}{2} + i\omega(\frac{r - r'}{v} - t)] \\ & - \exp[-\frac{\tau^2 \omega^2}{2} + i\omega(\frac{r + r'}{v} - t)] \} d\omega dr'. \end{aligned} \quad (24)$$

The evaluation of the following two integrals in equation (24) yields

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-\frac{\tau^2 \omega^2}{2} + i\omega(\frac{r - r'}{v} - t)] d\omega = \\ & \frac{\sqrt{2\pi}}{\tau} \exp[-\frac{(r - r' - vt)^2}{2\tau^2}] \end{aligned} \quad (25)$$

and

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{\tau^2 \omega^2}{2} + i\omega\left(\frac{r+r'}{v} - t\right)\right] d\omega = \frac{\sqrt{2\pi}}{\tau} \exp\left[-\frac{\left(\frac{r+r'}{v} - t\right)^2}{2\tau^2}\right]. \quad (26)$$

Writing equations (25) and (26) into equation (24) gives

$$p(r, t) = \frac{p_0}{2} \frac{1}{v r \tau} \int_0^R r' \operatorname{sinc}\left(\frac{r'}{\sigma}\right) \times \left\{ \exp\left[-\frac{\left(\frac{r-r'}{v} - t\right)^2}{2\sigma^2}\right] \exp\left[-\frac{\left(\frac{r+r'}{v} - t\right)^2}{2\sigma^2}\right] \right\} dr' \quad (27)$$

for $r > R$.

Substituting the following results

$$\begin{aligned} & \int_0^R r' \operatorname{sinc}\left(\frac{r'}{\sigma}\right) \exp\left[-\frac{\left(\frac{r-r'}{v} - t\right)^2}{2\tau^2}\right] dr' = \\ & \frac{1}{2} i \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \tau v \exp\left[-\frac{\tau^2 v^2 + 2i\sigma(r+vt)}{2\sigma^2}\right] \\ & \times \left\{ e^{\frac{2ir}{\sigma}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{-r\sigma + v(\sigma t - i\tau^2 v)}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{-r\sigma + R\sigma + \sigma vt - i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) \right] \right. \\ & \left. + e^{\frac{2ivt}{\sigma}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{-r\sigma + R\sigma + \sigma vt + i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{-r\sigma + v(\sigma t + i\tau^2 v)}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) \right] \right\} \quad (28) \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} & \int_0^R r' \operatorname{sinc}\left(\frac{r'}{\sigma}\right) \exp\left[-\frac{\left(\frac{r+r'}{v} - t\right)^2}{2\tau^2}\right] dr' = \\ & \frac{1}{2} i \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \tau v \exp\left[-\frac{\tau^2 v^2 + 2i\sigma(r+vt)}{2\sigma^2}\right] \\ & \times \left\{ -1 + \operatorname{erf}\left(\frac{r\sigma + v(\sigma t - i\tau^2 v)}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{\sigma(r - R + vt) - i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) \right. \\ & \left. + e^{\frac{2ir}{\sigma}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{r\sigma - \sigma(R + vt) + i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\sigma(r + R - vt) + i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) \right] \right\} \quad (29) \end{aligned}$$

into equation (24) (Here, erf and erfc are the error and the complementary error functions, respectively.), the time domain solution to the photoacoustic wave equation is obtained as

$$\begin{aligned} p(r, t) = & ip_0 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma}{4r} \exp\left[-\frac{\tau^2 v^2 + 2i\sigma(r+vt)}{2\sigma^2}\right] \\ & \times \left\{ e^{\frac{2ivt}{\sigma}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\sigma(r + R - vt) - i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{r\sigma - \sigma(R + vt) - i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) \right] \right. \\ & \left. + e^{\frac{2ir}{\sigma}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{r\sigma - \sigma(R + vt) + i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\sigma(r + R - vt) + i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) \right] \right\}. \quad (30) \end{aligned}$$

Depending on the propagation time, the following cases can occur for the absorber of radius R heated by a pulsed laser (when $r > R$) (Wang and Wu 2007). If either $r - R > vt$ or $r + R < vt$, $p(r, t)$ becomes zero since the absorber does not cross with the spherical shell of radius vt centered at the detector position r . On the other hand, if $r - R < vt < r + R$, the spherical object meets the spherical shell of radius vt . Hence, the photoacoustic wave is presented by equation (30). Therefore, by taking into consideration the aforementioned cases and utilizing the Heaviside step function, $U(x)$, the solution takes its final form in time domain

$$\begin{aligned} p(r, t) = & ip_0 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma}{4r} \exp\left[-\frac{\tau^2 v^2 + 2i\sigma(r+vt)}{2\sigma^2}\right] \\ & \times \left\{ e^{\frac{2ivt}{\sigma}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\sigma(r + R - vt) - i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{r\sigma - \sigma(R + vt) - i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) \right] \right. \\ & \left. + e^{\frac{2ir}{\sigma}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{r\sigma - \sigma(R + vt) + i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\sigma(r + R - vt) + i\tau^2 v^2}{\sqrt{2}\sigma\tau v}\right) \right] \right\}. \end{aligned}$$

$$\times U(r - |R - vt|)U(-r + R + vt). \quad (31)$$

3. Results and Discussion

In this part, the feasibility of the method is analyzed. First of all, the normalized spectral amplitudes of the photoacoustic waves (the solutions in the frequency domain, $\tilde{p}(r,\omega)/p_0$) are illustrated in figure 1 for beam-width value $\tau = 50 \mu\text{m}$, pulse duration values $\tau = 1, 5$ and 15 ns at $r = 100 \mu\text{m}$, respectively. The speed of the wave, the absorber's radius, and the beam-width are chosen as v (v_s , speed of sound in water) 1480 m/s , $R = 75 \mu\text{m}$, and $\tau = 50 \mu\text{m}$, respectively for biomedical applications (Wang 2008; Wang et al. 2003; Wang et al. 2004). The signal decreases with the pulse duration. These results are in a good accordance with the literature (Tabaru et al. 2019; Tabaru, Hayber, Saracoglu 2018). The change in the normalized photoacoustic pressure waves (p/p_0) with respect to normalized time ($v_s t/R$) is also observed for different positions as shown in figure 2. The photoacoustic waves are obtained at radial positions $r = 100, 150, 200 \mu\text{m}$, respectively where the pulse duration of the laser is taken as $\tau = 5 \text{ ns}$ (Uluc et al. 2018) in figure 2. Similar results are also presented for the applications of ultra-short laser pulses in figure 3 where the pulse duration is taken as $\tau = 5 \text{ fs}$. Figure 3 shows that the signal decreases with the position as it increases with the beam-width.

Laser pulse results in an initial pressure p_0 via thermal expansion and this initial pressure is constant throughout the spherical object. Each spherical pressure wave is split into two waves which have the same amplitude. In figure 2, the diverging spherical wave travels outward which is on the positive y axis whereas the converging spherical wave travels inwards which is on the negative y axis. The comparison of the photoacoustic waves in figure 2 shows that the amplitude of the normalized signal decreases with the radial position outside the object and the behavior of the photoacoustic signal as a function of time indicates a good agreement with the literature (Wang 2008).

The results obtained by the method presented in this study are compared with the results of another approach (Wang 2008) as can be shown in figure 4. In that approach (Wang 2008), the temporal and the spatial parts of the source (pulsed laser) are modeled by delta functions. The source is treated as a point source since the interaction is very sudden and local in space so that it can be approximated by delta functions. As the beam-width becomes very small (compared with the radius of the absorber), the spatial profile described by the sampling function behaves like a delta function. The signal was presented by the following expression in Wang's work (Wang 2008)

$$p(r, t) = p_0 [U(R - vt - r) + \frac{r - vt}{2r} U(r - |R - vt|)U(R + vt - r)] \quad (32)$$

where U is the Heaviside step function. Therefore, the results obtained by equation (31) (this study) are in a very good accordance with the results obtained by equation (32) (Wang's work) as can be seen in figure 4. In figure 5, the behaviour of the signal is observed in terms of time for three different beam-width values $\sigma = 50, 75$ and $100 \mu\text{m}$ where the position is $r = 100 \mu\text{m}$ and the pulse duration is $\tau = 5 \text{ ns}$. As can be seen in figure 5, the signal increases with the beam-width at any instant. This effect

can also be seen clearly in figure 6 which illustrates the change in the amplitude of the photoacoustic signal in terms of the beam-width for various pulse duration values $\tau = 1, 5$, and 10 ns at $r = 100 \mu\text{m}$. The signal diminishes as the beam-width decreases since the behaviour of the sampling function describing the radial profile becomes very similar to one of the delta function so that there will not be any explicit dependence of the beam-width on the signal. Moreover, the signal reaches a saturation value when the beam-width is greater than the radius of the absorber. Figure 7 illustrates how the pulse duration affects the photoacoustic signal for various beam-width values $\sigma = 10, 50$ and $75 \mu\text{m}$ at $r = 100 \mu\text{m}$. The signal decreases as the pulse duration increases because the power of the laser is a decreasing function of the pulse duration. It is also important to note that the signal disappears for large values of the pulse duration since the pulse duration becomes longer than stress confinement time and/or thermal confinement time. As a result of this, the propagation of the wave cannot be described by the photoacoustic wave equation. In other words, the stress and thermal confinement conditions are no longer met, and hence the photoacoustic wave equation is not valid anymore.

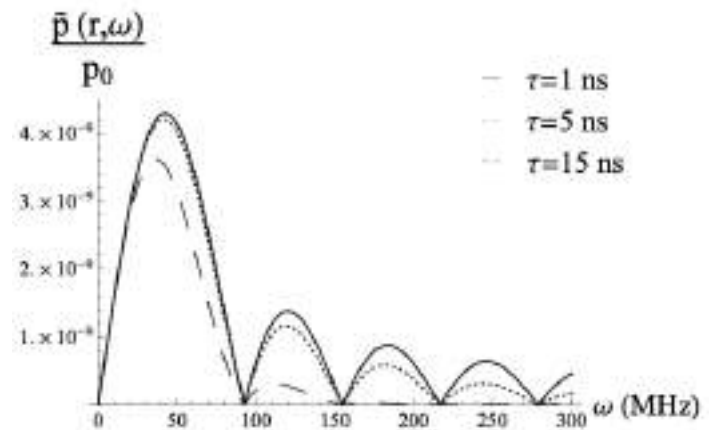


Figure 1. Normalized photoacoustic spectral amplitude $\tilde{p}(r,\omega)/p_0$ vs. frequency ω values of $\tau = 1, 5$ and 15 ns at $r = 100 \mu\text{m}$, respectively where the radius of the absorber $R = 75 \mu\text{m}$ and the beam-width $\tau = 50 \mu\text{m}$.

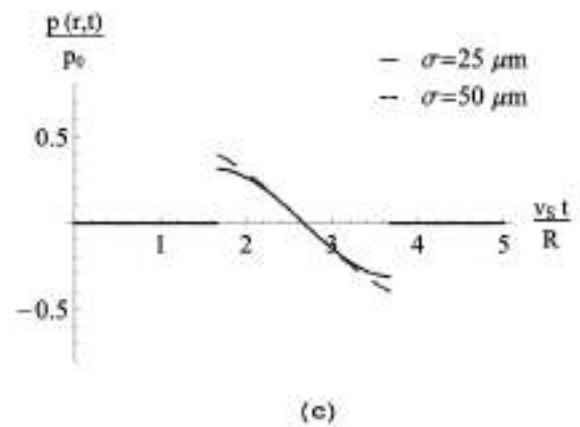
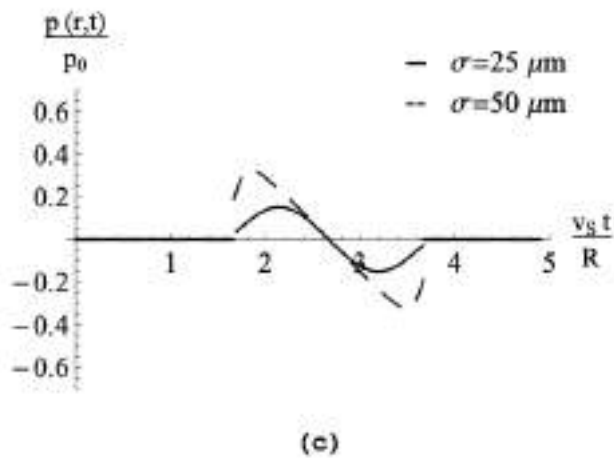
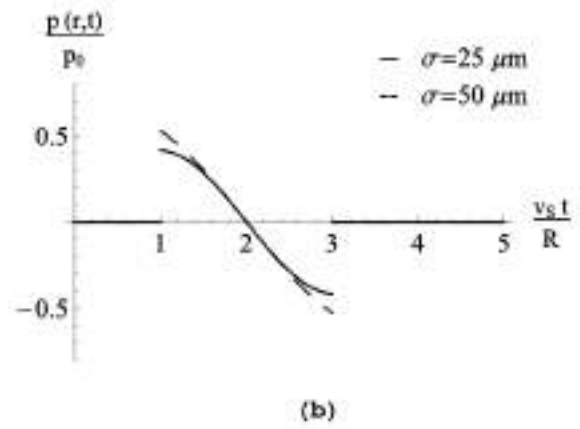
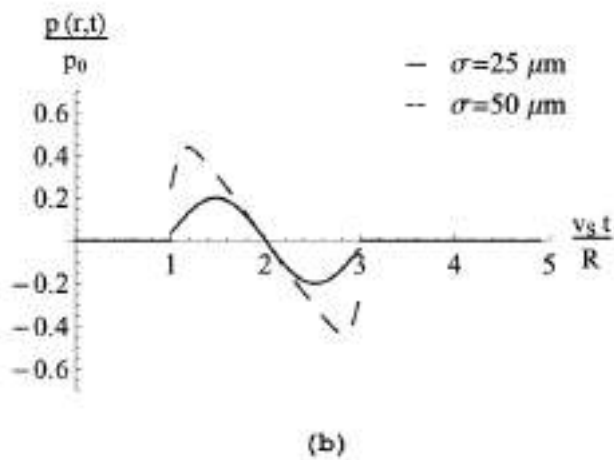
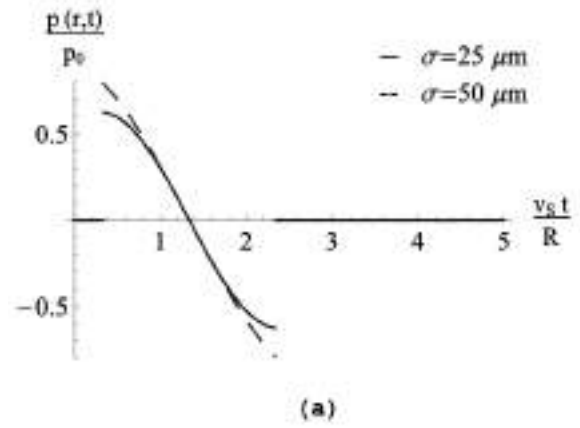
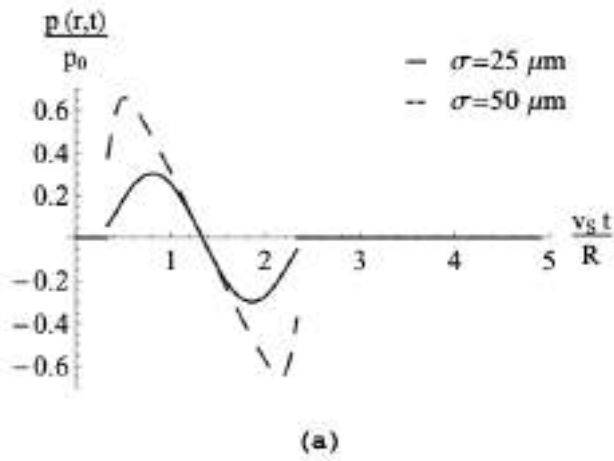


Figure 2. Normalized photoacoustic signal $p(r,t)/p_0$ vs. normalized time $v_g t/R$ for beam-width values of $\sigma = 25$ and $50 \mu\text{m}$ at (a) $r = 100 \mu\text{m}$, (b) $r = 150 \mu\text{m}$, and (c) $r = 200 \mu\text{m}$, respectively where the radius of the absorber $R = 75 \mu\text{m}$ and pulse duration $\tau = 5 \text{ ns}$.

Figure 3. Normalized photoacoustic signal $p(r,t)/p_0$ vs. normalized time $v_g t/R$ for beam-width values of $\sigma = 25$ and $50 \mu\text{m}$ at (a) $r = 100 \mu\text{m}$, (b) $r = 150 \mu\text{m}$, and (c) $r = 200 \mu\text{m}$, respectively where the radius of the absorber $R = 75 \mu\text{m}$, and the pulse duration $\tau = 5 \text{ fs}$, respectively.

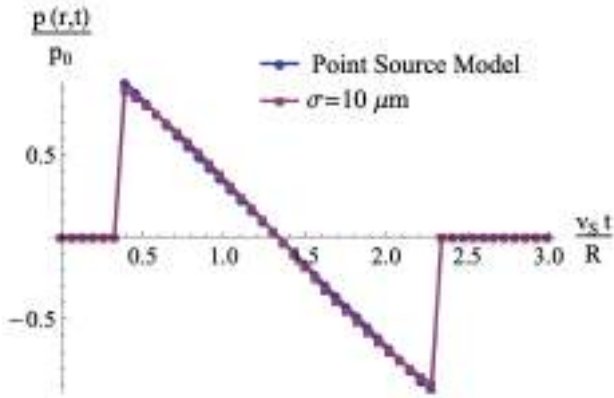


Figure 4. Normalized photoacoustic signal $p(r,t)/p_0$ vs. normalized time $v_s t/R$ at $r = 100 \mu\text{m}$ where the radius of the absorber $R = 75 \mu\text{m}$, the beam-width $\sigma = 10 \mu\text{m}$, and pulse duration $\tau = 5 \text{ ns}$. Here, circle and square represent the point source model and the model presented in this work, respectively.

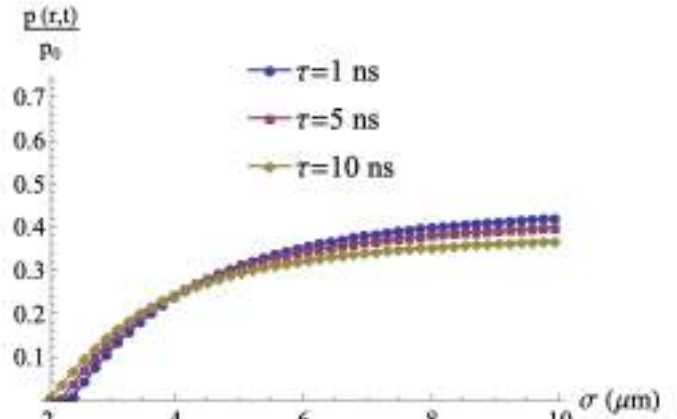


Figure 6. Normalized photoacoustic signal $p(r,t)/p_0$ vs. beam-width σ at $r = 100 \mu\text{m}$ where the radius of the absorber $R = 75 \mu\text{m}$, circle, square, and diamond correspond to $\tau = 1, 5,$ and 10 ns pulse duration values, respectively.

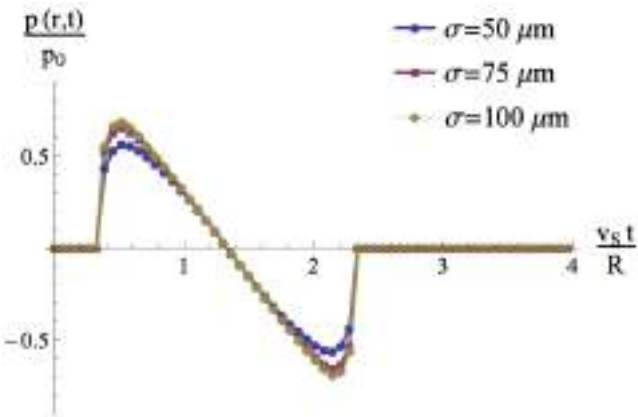


Figure 5. Normalized photoacoustic signal $p(r,t)/p_0$ vs. normalized time $v_s t/R$ at $r = 100 \mu\text{m}$ for beam-width $\sigma = 50, 75$ and $100 \mu\text{m}$ where the radius of the absorber $R = 75 \mu\text{m}$, and the pulse duration $\tau = 5 \text{ ns}$, respectively.

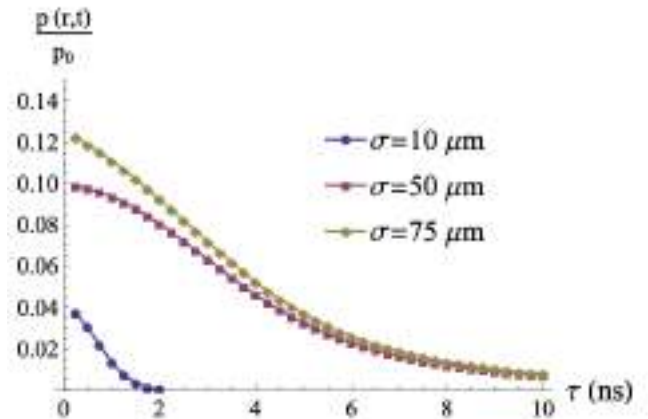


Figure 7 Normalized photoacoustic signal $p(r,t)/p_0$ vs. pulse duration τ at $r = 100 \mu\text{m}$ where the radius of the absorber $R=75$

μm , circle, square, and diamond correspond to $\sigma = 10, 50$ and $75 \mu\text{m}$ beam-width values, respectively.

4. Conclusions and Recommendations

The photoacoustic wave equation is solved analytically to describe the photoacoustic signal resulted from a spherical-shaped optically absorbing object which is heated up by a pulsed laser. The pulsed laser is represented by the product of the spatial term and the temporal term. The spatial term is modeled by a sampling function while the temporal term is described by a Gaussian function. The sampling function is used to model the spatial part of the source term because the experimental radial profile resulted from a spatial light modulator can be modeled accurately with a sampling function. Moreover, short pulsed lasers (such as nanosecond and femtosecond) generate nonlinear effects in tissue and they have a close-to-sinusoidal variation in the central pulse region, which enables the modeling of a sampling function. Moreover, the sampling modeling proposed in this work can be helpful for the understanding of the nonlinear

mechanism in the field of photoacoustics. The Greens' function technique is implemented to find the frequency domain solutions after the Fourier transform is employed. The photoacoustic wave is also expressed in the time domain via the Inverse Fourier Transform. The time dependent wave expression includes laser factors (beam-width and pulse duration). The behaviour of the photoacoustic wave with respect to time is analyzed for various radial positions outside the absorber. The signal decreases with the radial position as expected. The analysis on how the laser factors affect the signal are also conducted. The signal diminishes as the beam-width decreases. If the beam-width is very small compared with the radius of the absorber, the sampling function behaves like a delta function (very sharp Gaussian) and the explicit observation of the effect of the beam-width on the signal disappears. The results presented by this work are in a very good agreement with the ones obtained by the delta function approach in the literature as the beam-width becomes very small. The beam-width of the laser needs to be comparable with the radius of the

spherical absorber for the photoacoustic wave expression to have an explicit beam-width dependency. The signal decreases with the pulse duration because the laser power is inversely proportional to the pulse duration. In addition to this, the photoacoustic wave equation will be no longer valid to describe the acoustic wave if the pulse duration is longer than the stress and the thermal relaxation times. Therefore, our model can be useful in biomedical applications since it enables to adjust laser factors.

5. Acknowledge

This research is supported by Boğaziçi University Research funding Grant No. BAP 15362.

References

- Audo, F., Boscolo, S., Fatome, J., Kibler, B., & Finot, C. (2017). "Nonlinear Spectrum Broadening Cancellation by Sinusoidal Phase Modulation." *Optics Letters*, 42(15), 2902-2905.
- Bai, W., & Diebold, G. J. (2018). "Moving Photoacoustic Sources: Acoustic Waveforms in One, Two, and Three Dimensions and Application to Trace Gas Detection." *Physical Review E* 125, 060902.
- Beard, P. (2011). "Biomedical Photoacoustic Imaging." *Interface Focus* 1, 602-631.
- Bell, A. G. (1880). "On the Production and Reproduction of Sound by Light." *American Journal of Science* 118, 305-324.
- Calasso, I. G., Craig, W., & Diebold, G. J. (2001). "Photoacoustic Point Source." *Physical Review Letters* 86, 3550-3.
- Diebold, G. J., & Westervelt, J. (1988). "The Photoacoustic Effect Generated by a Spherical Droplet in a Fluid." *Journal of Acoustical Society of America* 84, 2245.
- Diebold, G. J., Sun, T., & Khan, M. I. (1991). "Photoacoustic Monopole Radiation in One, Two, and Three Dimensions." *Physical Review Letters* 67, 3384-3387.
- Gao, R., Xu, Z., Ren, Y., Song, L., & Liu, C. (2021). "Nonlinear Mechanisms in photoacoustics: Powerful Tools in Photoacoustic Imaging." *Photoacoustics*, 100243.
- Gusev, V., & Chigarev, N. (2010). "Nonlinear Frequency-mixing Photoacoustic Imaging of a Crack: Theory." *Journal of Applied Physics*, 107(12), 124905.
- Hoelen, C. G. A., de Mul, F. F. M., Pongers, R., & Dekker, A. (1998). "Three-dimensional Photoacoustic Imaging of Blood Vessels in Tissue." *Optics Letters* 23, 648-650.
- Hutchins, D., & Tam, A. C. (1986). "Pulsed Photoacoustic Materials Characterization." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 33, 429-449.
- Kozhushko, V., Khokhlova, T., Zharinov, A., Pelivanov, I., Solomatin, V., & Karabutov, A. (2004). "Focused Array Transducer for Two-dimensional Photoacoustic Tomography." *Journal of Acoustical Society of America* 116, 1498.
- Lai, H. M., & Young, K. (1982). "Theory of the Pulsed Photoacoustic Technique." *Journal of Acoustical Society of America* 72, 2000.
- Lin, L., Hu, P., Shi, J., Appleton, C. M., Maslov, K., Li, L., Zhang, R., & Wang, L. V. (2018). "Single-breath-hold photoacoustic computed tomography of the breast." *Nature Communications* 9(1), 2352.
- Morse, P. M., & Feshbach, H. (1953). *Methods of Theoretical Physics, Part I* New York: McGraw-Hill.
- Ripoll, R., & Ntziachristos, N. (2005). "Quantitative Point Source Photoacoustic Inversion Formulas for Scattering and Absorbing Media." *Physical Review E* 71, 031912.
- Sigrist, M. W., & Kneubühl, F. K. (1978). "Laser-generated Stress Waves in Liquids." *Journal of Acoustical Society of America* 64, 1652.
- Tabaru, T. E., Hayber, S. E., & Saracoglu, O. G. (2018). "Frequency Domain Analysis of Laser and Acoustic Pressure Parameters in Photoacoustic Wave Equation for Acoustic Pressure Sensor Designs." *Current Optics and Photonics* 2, 250-260.
- Tabaru, T. E., Hayber, S. E., Keser, S., & Saracoglu, O. G. (2019). "Spectral Analysis for Photoacoustic Pressure Sensor Designs: Theoretical Model Improvement and Experimental Validation." *Sensors and Actuators A: Physical* 287, 76-83.
- Tam, A. C. (1986). "Applications of Photoacoustic Sensing Techniques." *Reviews of Modern Physics* 58, 381-431.
- Uluc, N., Unlu, M. B., Gulsen, G., & Erkol, H. (2018). "Extended Photoacoustic Transport Model for Characterization of Red Blood Cell Morphology in Microchannel Flow." *Biomedical Optics Express* 9, 2785-2809.
- Wang, L. V. (2004). "Ultrasound-mediated Biophotonic Imaging: A Review of Acousto-optical Tomography and Photoacoustic Tomography." *Disease Markers* 19, 123-38.
- Wang, L. H., & Wu, H. (2007). *Biomedical Optics: Principles and Imaging*. NJ: Wiley.
- Wang, L. V. (2008). "Tutorial on Photoacoustic Microscopy and Computed Tomography." *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 14, 171-179.
- Wang, X., Pang, Y., Ku, G., Xie, X., Stoica, G., & Wang, L. H. V. (2003). "Noninvasive Laser induced Photoacoustic Tomography for Structural and Functional in Vivo Imaging of the Brain." *Nature Biotechnology* 21, 803-806.
- Wang, Y., Xie, X., Wang, X., Ku, G., Gill, K. L., O'Neal, D. P., Stoica, G., & Wang, L. H. V. (2004). "Photoacoustic Tomography of a Nanoshell Contrast Agent in the in Vivo Rat Brain." *Nano Letters* 4, 1689-1692.
- Xu, M., & Wang, L. V. (2006). "Photoacoustic imaging in biomedicine." *Review of Scientific Instruments* 77, 041101.
- Zhang, J. M., Anastasio, A., Rivi_ere, P. J., & Wang, L. H. (2009). "Effects of Different Imaging Models on Least-squares Image Reconstruction Accuracy in Photoacoustic Tomography." *IEEE Transactions on Medical Imaging* 28, 1781-1790.



Kentsel Peyzajlarda Yol Kenarı Yeşil Alanların Kent Ekosistemi Çerçevesinde Değerlendirilmesi

Gül Aslı Aksu^{1*}

^{1*} Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü (ORCID: 0000-0002-6847-6182), gaaksu@kastamonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 28 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.944343)

ATIF/REFERENCE: Aksu, G.A., (2021). Kentsel Peyzajlarda Yol Kenarı Yeşil Alanların Kent Ekosistemi Çerçevesinde Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 736-748.

Öz

Kentleşme sürecinin yoğun olarak yaşandığı kent ekosistemlerinde birçok döngü sekteye uğramaktadır. Yeşil alan sisteminin bozulmasına bağlı olarak, kentsel ısı adası oluşumları artmakta, yağmur suları hızla yüzeysel akışa geçmekte, yapay topoğrafyaya bağlı olarak suni mikro-iklimsel oluşumlar (rüzgar - gölge kanyonu oluşumu v.b.) görülmekte, havadaki partikül madde ve emisyon oranları yükselmektedir.

Kentsel peyzajlarda, meydana gelen bu değişimleri kontrol altında tutmanın en önemli yollarından bir tanesi, yeşil alan sisteminin devamlılığını sağlamaktır. Kent ortamında yol ağlarına eşlik eden yeşil alanlar, yeşil sistem içerisinde hat boyunca etkili olarak, yeşil üniteleri birbirine bağlayıcı bir karaktere sahiptir. Bu yapılarıyla hem yeşil sistemi tamamlayıcı hem yol ağların sebep olduğu zararlı etkileri frenleyici hem de bazı canlılar için yaşam ortamı teşkil edici özelliklere sahiptirler. Buna karşılık, planlama, tasarım ve yönetim kararlarında, yaşam kalitesi ve kentsel ekosisteme sağladıkları katkı bakımından göz ardı edilmektedir.

Bu makalede İstanbul, Beşiktaş İlçesi yeşil alan sistemine ait yol kenarı yeşil alanlar, peyzaj ekolojisi çerçevesinde ünite-koridor-matris yaklaşımına göre ele alınıp sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla, öncelikle peyzaj ve sınıf düzeyi peyzaj metrikleri yardımıyla peyzaj paterni incelenmiştir. Peyzaj düzeyi metrikler konumsal hale getirilerek haritalanmıştır. Sonra örnek bir alan üzerinde yol kenarı yeşil alanların ekolojik fonksiyonları değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular kent içi yeşil sistem, ekolojik, fonksiyonel ve estetik bakış açılarına göre yorumlanıp öneriler getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yol kenarı yeşil alan, Peyzaj ekolojisi, Kentsel yeşil alan sistemi, Peyzaj planlama, Peyzaj metrikleri.

Evaluation of Roadside Green Areas in Urban Landscapes in the Framework of Urban Ecosystem

Abstract

Due to intense urbanization pressure, many ecological cycles are disrupted in the cities. The deterioration of the green network increases urban heat island effects, rainwater rapidly passes to runoff, artificial micro-climatic formations (wind-shade canyons, etc.) are seen depending on artificial topography, while particulate matter and emission rates rise.

One of the most important ways to keep these changes in urban landscapes under control is to ensure the continuity of the green network. Roadside green areas that are accompanying road networks in the urban environment and through their linear structure, have a binding character between green units in the green system. These structures are important parts of the green system by absorbing the negative effects of roads and constituting habitats for some living creatures. On the other hand, their contribution to the urban ecosystem in terms of the quality of life, planning, design, and management decisions has been ignored.

In this article, the roadside green areas belonging to the green network of Beşiktaş District of Istanbul are evaluated according to the unit-corridor-matrix approach within the framework of landscape ecology and in terms of sustainability. For this purpose, firstly, landscape pattern was examined by using landscape and class-level landscape metrics. Landscape-level metrics were mapped. Then, the ecological functions of the roadside green areas on a sample area were evaluated. The obtained findings were interpreted according to the urban green system, ecological, functional, and aesthetic perspectives, and suggestions were made.

Keywords: Roadside green area, Landscape ecology, Urban green network, Landscape planning, Landscape metrics

* Sorumlu Yazar: gaaksu@kastamonu.edu.tr / aslizobzay@yahoo.de

1. Giriş

Kentleşme, peyzaj desenlerine mekânsal dönüşüm süreçleri şeklinde etki ederken, peyzaj fonksiyonları da başta iklim, toprak, rölyef, biyolojik yapı olmak üzere değişime uğramakta, hatta etkinin boyutuna bağlı olarak geri dönüşümü çok zor olan bozulmalara maruz kalmaktadır (Forman, 2008). Kentleşmenin etkisiyle alanların su rejimi bozulmakta, doğal rölyef değişmekte, doğal toprak özellikleri kaybolmakta, kentsel ısı adası oluşumları görülmektedir. Peyzaj desenindeki ve fonksiyonundaki değişim, bölgesel ölçekte yeşil alan sistemlerinin bozulmasından başlayıp, detayda biyotopların yok olmasına varıncaya kadar farklı neticeler doğurmaktadır.

Kentleşme, insan ve yapı birimi yoğunluğunun belli alanlarda artması ve dışa doğru yayılmasıdır. Dünya nüfusunun yarısı, yoğunlaşma bölgeleri olan şehirlerde toplanmaktadır (Forman, 2014). Şehirlerde ve çevrelerinde meydana gelen bu yoğunlaşmanın neticesinde, sürdürülebilir arazi kullanımı en önemli problem olarak ortaya çıkmakta, araziler seri bir şekilde mekânsal dönüşüm süreçlerine maruz kalmaktadır (Forman, 1995). Teknoloji ve endüstrinin gelişmesiyle birlikte, hızlı nüfus artışının bir sonucu olarak ekosistemdeki insan baskısı artmış ve doğal çevreler yok olmaya ve yenilenebilir gücünü kaybetmeye yüz tutmuştur. Kentsel alanlardaki hızlı yapısal değişimler, yeşil alanların azalmasına ve geri planda kalmasına sebep olmuştur (Hergül ve Göker, 2020).

İnsan etkisiyle meydana getirilen kentsel ekosistemler tamamen doğallıktan uzaklaşmıştır; yağmur damlacıkları toprakla buluşmadan asfalt yollardan kanalizasyonlara karışmakta, fabrikalardan çıkan zehirli atık sular bütün akarsuların bileşimini değiştirmekte, topraklar asit yağışlarla zehirlenmekte, nefes aldığımız havanın gaz bileşimi değiştirilerek “doğallık”tan uzak yapay ekosistemler yaratılmıştır ve yaratılmaktadır (Çepel, 2006). Başta yüzeylerin geçirimsiz yapısal yüzeylerle kaplanmasından ve özellikle yol ağlarına bağlı olarak partikül madde ve emisyon oranlarının artarak atmosferde yoğunlaşmasından kaynaklanan “kent iklimi”, daha yüksek hava ve yüzey sıcaklıkları, ısıma dengesinde bozulmalar, düşük rutubet değerleri ve çok çeşitli kaynaklardan türeyen kirlenmelerin birikmesi gibi etkilere sebep olan kısıtlı atmosferik değişimlere sahiptir (Kuttler, 2008). Kent koşullarının değişmesi, genelde çevre kalitesinin bozulmasına sebep olmakta ve sağlık sorunları meydana getirmektedir (Çepel, 1994).

Enerji ve madde tüketiminin düğüm noktaları olarak kentler, küresel ekolojik tahribatı hızlandırmaktadırlar (Rees ve Wackernagel, 2008). İklim koşulları ve yüzey örtü tipine bağlı olarak, kent dokusu tarafından mikro ve mezo ölçekte ısı adaları üretilebilmektedir (Oke, 1976). Özellikle kent koşullarında mikroklimatik koşullar ile yapay yüzeyler arasındaki ilişkilerin anlaşılması, sürdürülebilir tasarım anlayışına önemli katkılar sağlayacaktır (Erell, Pearlmutter ve Williamson, 2011). Yapılaşma yoğunluğunun arttığı bölgelerde yüzeyin kaplı olduğu yapısal malzemenin türü ve niteliğine bağlı olarak güneş ışınları gün boyunca emilip depolanır ve gün batımından sonra atmosfere verilir (Gartland, 2008).

İstanbul gibi nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde, kent peyzajında strüktürel olarak meydana gelen değişim,

ekosistem döngülerini bozacak düzeye ulaşmaktadır. Arazi hızla yapaylaşmakta, yapılaşmaya bağlı olarak meydana gelen yapay topoğrafya, mikro ölçekte iklimi değiştirmekte, yüzeyel akışın artmasına sebep olmaktadır.

İstanbul’un Anadolu Yakası kapsamında yapılan araştırmaya göre 1987-2001 yılları arasındaki 14 yıllık dönemde, yeşil alan oranının %66’dan %58,69’a düştüğü, yapay yüzey oranının ise %4,1’den %12,64’e çıktığı görülmektedir (Musaoğlu vd., 2004). İstanbul Sarıyer İlçesi ile ilgili yapılan bir araştırmada 1997-2010 yılları arasında 13 yıllık bir zaman diliminde arazi örtüsünün %13’ünün yeşilden yapaya dönüştüğü tespit edilmiştir (Aksu, 2012). Araştırma alanının yarı kırsal yarı kentsel bir karakter sergilemesine karşılık, 2010 yılı bulgularına göre, %3 oranında tarım alanı, %1 oranında su yüzeyi, %33 oranında yapay yüzey ve %63 oranında orman alanı ve yarı doğal yüzey tespit edilmiştir (Aksu ve Küçük, 2020). Sarıyer ilçesi ile Eyüp ve Şişli ilçelerinin bir kısmını kapsayan çalışmada ise yolların, yeşil alan bütünlüğünü en fazla parçalayan ve peyzaj devamlılığını olumsuz etkileyen yapılaşmış alan tipi olduğu tespit edilmiştir (Kırca et al., 2015)

Kullanım yoğunluğu ve kullanıcı profili, kullanım öncelikleri ve bunların zaman içerisindeki değişimi hakkında önemli ipuçları barındırmaktadır ve bu sayede peyzajların bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilebilmesine, biyolojik çeşitliliği korumaya ve geliştirmeye yönelik gerçekçi bir bakış açısının oluşturulabilmesine imkân tanımaktadır (Suri, 2018; Suri, 2019). Örnekleri verilen araştırmalardan elde edilen rakamsal bulgularla birlikte İstanbul, 2017 yılı itibarıyla 15.029.231 kişi olarak resmi kayıtlara geçen nüfusuyla, kentleşme sürecinin çok yoğun ve süratli seyrettiği bir şehir olarak dikkat çekmektedir (TÜİK, 2017). Bu nüfus yoğunluğu yeşil alan sistemi üzerindeki baskının başlıca sebebidir.

Özellikle doğaldan yapaya doğru hızlı bir dönüşüm süreci içerisinde olan metropoliten alanlardaki bu değişimlerin hassasiyetle ele alınması ve kent ekosistemini oluşturan bileşenlerin bütüncül bir sistem algısıyla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Peyzaj Ekolojisi, insanın mekânsal desen üzerindeki etkilerinin ortaya konmasını sağlayan etkili bir çerçevedir. Peyzaj ekolojisi mekânsal heterojenliğe ve desen-süreç ilişkisine odaklanır ve peyzaj strüktürünün karakterini, değişim dinamiklerini ve insan etkilerini açıklamaya çalışır.

Özellikle kentsel peyzajlarda yeşil alanların önemli işlevleri söz konusudur:

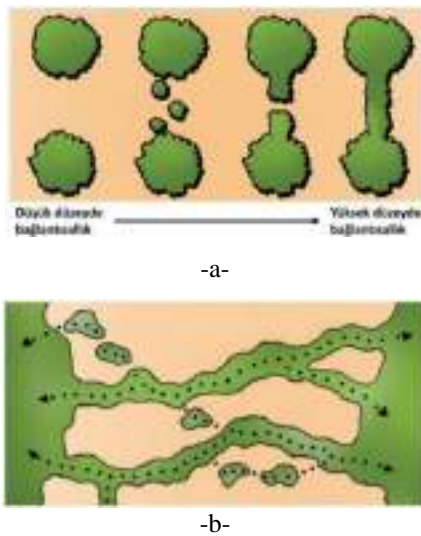
- Doğanın adım taşlarıdır. Bu yapılarıyla kentsel yeşil sistemi, civardaki doğal sistemlerle ilişkilendirirler.
- Rekreatyonel amaçlara hizmet ederler.
- Mikroiklim koşullarının düzenlenmesine katkı sağlarlar.
- Partikül madde, emisyon, gürültü gibi olumsuz etkileri dengelerler.
- Canlılar için yaşamsal öneme sahiptirler, besin ve barınma ortamı sağlarlar.
- Ekolojik değeri yüksek olan yeşil koridorlar, yaşama ortamları arasındaki akışı sağlar.

• Özellikle kentsel alanlarda, ekosistem döngüleri açısından önemli görevler üstlenen yeşil alanların, insanların yaşam kalitesini artırmak adına da önemli işlevlere sahip olduğu görülmektedir.

Daha birçok faydası sayılabilecek olan yeşil alanların bir sistem algısı içerisinde değerlendirilmesi, peyzaj fonksiyonuna ve strüktürüne yönelik önemli bilgiler vermektedir. Bu anlamda yeşil alanlar başlı başına peyzajın önemli indikatörleridir (göstergeleridir).

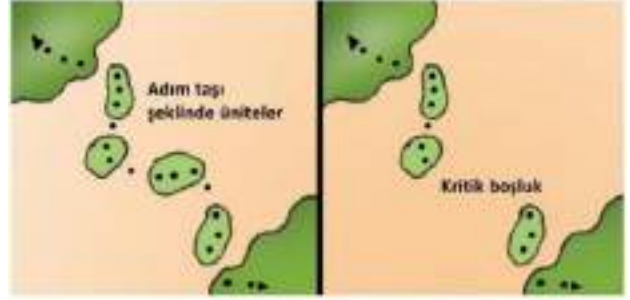
Peyzaj ekolojisi strüktür, fonksiyon ve değişim olmak üzere üç mekanizmaya odaklanmaktadır. Bu mekanizma içerisinde çizgisel yapıdaki koridorlar, bağlayıcı özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Koridorlar, peyzaj strüktürünün ekolojik açıdan devamlılığının sağlanabilmesi için son derece önemlidir (Forman ve Godron, 1986). Özellikle yukarıda ifade edilen baskılara maruz kalan yeşil alan sistemlerinin devamlılığının sağlanması, hassas dengeler üzerine kurulu olan kent ekosistemi açısından önem taşımaktadır. Hellmund ve Smith (2006), peyzaj içerisinde ekolojik açıdan bağlayıcı nitelik taşıyan çizgisel karakterdeki yeşil ünitelerin çok yönlü faydalarına değinmekte ve yeşil sistem içerisindeki bağlantısallığın önemini vurgulamaktadır. Bentrup (2008) da yeşil sistem içerisinde yeşil alanların birbiriyle olan ilişkisi ve bağlantılarının, biyolojik çeşitlilik ve doğa koruma açısından önemini, konuyla ilgili öncü çalışmalar rehberliğinde tartışmaktadır. Şekil 1a, ayrı yeşil ünitelerin birbirine farklı tiplerde yaklaşma şekline göre bağlantısallık düzeylerini göstermektedir. Şekildeki ilişkiler incelendiğinde, koridorlarla kurulan bağlantının kamalarla yaklaşmaya göre daha kuvvetli olduğu; kamalarla yaklaşma şeklinde kurulan bağlantının ise adım taşlarıyla kurulan bağlantıya göre daha güçlü olduğu anlaşılmaktadır.

Yeşil koridorlar ve bağlantı alternatifleri ne kadar artırılırsa, yeşil sistem o kadar stabil hale gelmektedir (Şekil 1b). Böylelikle herhangi bir etkenle, bağlantılardan birinde meydana gelebilecek zayıflık, diğer bağlantı tipleri tarafından telafi edilebilmektedir.



Şekil 1. (a) Yeşil ünitelerin birbirlerine farklı tiplerdeki yaklaşma şekline göre kurulan bağlantısallık düzeyleri. (b) Yeşil üniteler arasındaki bağlar ne kadar fazla alternatifli olursa, yeşil sistemin sürdürülebilirliğine olumlu yönde katkı sağlamaktadır (Bentrup, 2008'den uyarlanmıştır).

Yeşil üniteler arasındaki zayıf bağlantılarda yaşanabilecek zayıflıklar, telafisi mümkün olmayan kopmalara sebep olabilmektedir (Şekil 2). Bu durumda yeşil sistem içerisindeki akışlar da sekteye uğramaktadır.



Şekil 2. Yeşil sistemdeki üniteler arasındaki bağlantıların kritik düzeyde kopması sonucunda, yeşil sistem sekteye uğrayabilmektedir (Bentrup, 2008'den uyarlanmıştır).

Ekosistemler için önem arz eden başlıca süreçler, madde dolaşımı ve enerji akımıdır. Bu iki önemli sürecin sürdürülebilirliği ve dengesi biyolojik çeşitliliğin korunmasına bağlıdır (Çepel, 2003). Kent ekosistemlerinde daha hassas dengeler ve eşik değerleri söz konusu olduğu için biyolojik çeşitliliği destekleyecek yapıların önemi de artmaktadır.

Kent ekosistemi içerisinde, çizgisel karakterleri itibarıyla, ulaşım ağlarının olumsuz etkilerine hat boyu kendini siper eden ve bu düzenleyici etkinin devamlılığına katkı sağlayan en önemli sistemler, yol ağlarına eşlik eden yeşil alanlardır. Bu alanların, kent ekosistemi içerisinde yeşil üniteleri bağlama, özellikle kuşlar ve kelebekler gibi uçabilen canlılar için yaşama ortamı teşkil etme, bununla birlikte yol ağlarının olumsuz etkilerini dengeleme gibi hayati işlevleri vardır. Bu tip alanların, varlığını sürdürebildiği kent ortamlarında hassasiyetle değerlendirilmesi, kent ekosistemini destekleyecek nitelikte tasarlanması, yeşil yol ve koridor tasarımlarına öncülük edecek yeşil sistem unsurları olarak algılanması gerekmektedir. Bitki türü tercihlerinin, düzenleme prensiplerinin bu desteği sağlayacak şekilde kurgulanması gerekmektedir. Bu yeşil sistemler aynı zamanda yol ağlarının emisyon, toz, gürültü gibi olumsuz etkilerini filtrelemekte, yapılarla yol ağları arasında tampon görevi görmektedir. Yeşil sistemin önemli bileşenleri olan yol kenarı yeşil alanlar, bir yandan çizgisel karaktere sahip yollara hat boyunca eşlik ederken, diğer yandan kent ekosistemindeki diğer noktasal yapıdaki yeşil üniteleri birbirine bağlamakta ve bu sayede tür hareketliliğini ve biyolojik çeşitliliği teşvik edebilmektedir. Bununla birlikte çizgisel karakterleri sayesinde kentsel yeşil sistem içerisine nüfuz ederek kentsel ısı adası oluşumu gibi mikro iklimsel olumsuzlukların etkilerini kırmaktadır. Yukarıda sayılan faydaları ile kent ekosisteminin önemli işlevsel bileşenleri olan yol kenarı yeşil alanlar, aynı zamanda estetik açıdan da önem taşımaktadır.

19. yy'ın sonlarından itibaren kent için yeşil sistemi desteklemek ve kent ekosistemini düzenlemek üzere "Yeşil Yol" (greenway) kavramının Amerika'da tasarım literatürüne girdiği görülmektedir (Ahern, 2004). Avrupa'da da özellikle 20. yy'ın ortalarından itibaren peyzaj ekolojisi kavramı; peyzaj strüktürü, tür hareketliliği ve biyolojik çeşitlilik gibi araştırmaların temel çerçevesini oluşturmuş, akabinde ekolojik ağlarla ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Jongman ve Pungetti, 2004).

Ekolojik ağların peyzaj ekolojisi çerçevesinde nicel olarak, ünite – koridor – mozaik mantığı ile değerlendirilmesi, kent ekosisteminin sürdürülebilirliği açısından da önem taşımaktadır (Jongman, 2004). Günümüzde özellikle yoğun kentleşme baskısı altındaki metropollerde kent içi yeşil sistemin hem peyzaj strüktürü hem de peyzaj fonksiyonu açısından değerlendirilmesi, yeniden yapılandırılması ve tasarlanması kent planlamasının önemli konularından birisi haline gelmiştir (Forman, 2014).

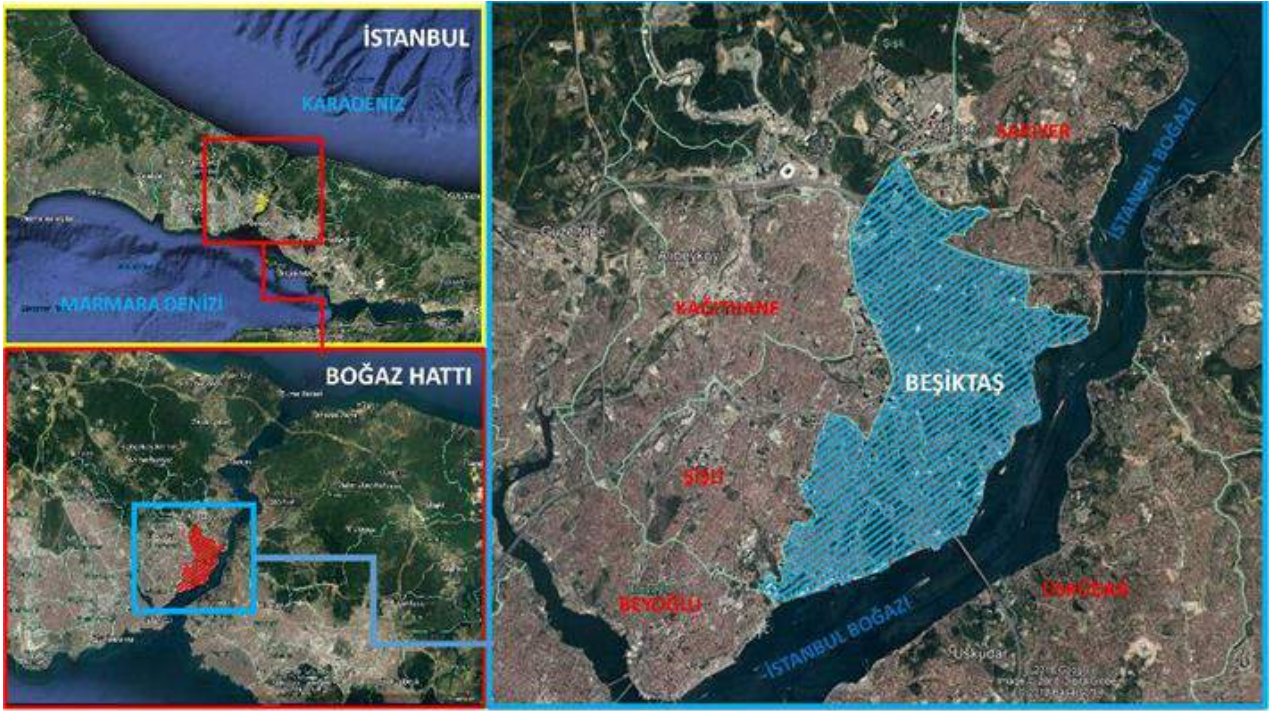
Kent ekosistemi içerisinde üstlendikleri bağlayıcı ve tampon rolleri itibarıyla, yol ağlarına eşlik eden yeşil alanların öncelikli olarak ekolojik faydaları açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, yol kenarı yeşil alanların kent ekosistemi açısından önemi ve peyzaj strüktüründeki yeri, İstanbul Beşiktaş İlçesi örneğinde değerlendirilip tartışılmıştır. Bu maksatla öncelikle patern analizi yardımıyla mevcut yeşil sistem ortaya konmuş, peyzaj metrikleri yardımıyla nicel olarak değerlendirilmiştir. Sonrasında yol kenarı yeşil alanların bu

mevcut yeşil sistem içerisindeki konumu ve fonksiyonları tartışılmıştır. Yapısal yüzeylerin baskın hale geldiği ve yol kenarı yeşil alanların sekteye uğradığı kısımlarda bağlantısallığın sürdürülebilmesi adına yeşil çatı-cephe sistemlerinin, yağmur bahçelerinin ve dikey bahçelerin kullanım ve tercih olanakları ile ilgili öneriler getirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırma alanı olan Beşiktaş, İstanbul'un Avrupa yakasında 41°02'31" kuzey enlemleri ile 29°00'26" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Beşiktaş idari olarak İstanbul Büyükşehir'e bağlı bir ilçedir. Kuzey'de Sarıyer; doğuda ve güneyde İstanbul Boğazı; batıda ise Şişli, Kağıthane ve Beyoğlu ilçeleriyle komşu olan araştırma alanı 18.22 km² yüzölçümüne sahiptir (Şekil 3).



Şekil 3. Araştırma alanı Beşiktaş, İstanbul İline bağlı, yoğun kentleşme baskısı altında olan bir ilçedir. (KAYNAK: Google Earth, 2018)

Beşiktaş hem İstanbul gibi bir metropolün merkezinde yer alması hem de kara ve deniz ulaşım alternatiflerine sahip olması ve bu bakımdan aynı zamanda bir transfer merkezi niteliği taşıması açısından dikkat çekmektedir.

İstanbul Beşiktaş İlçesi kapsamında yapılan çalışmaya göre, arazi örtüsünün %61,63'lük kısmı yapay yüzeylerden, %0,34'lük kısmı su yüzeylerinden ve ancak %38,04'lük kısmı yeşil alanlardan ibarettir. Bu yeşil alan oranının içerisinde yol kenarı yeşil alanlar %4,73'lük bir orana sahiptir. Buna karşılık yol ağları, %22,85 gibi bir oranla ön plana çıkan yapılardır.

Araştırma alanı içerisinde refüjleri peyzaj fonksiyonu ve peyzaj strüktürü açısından değerlendirmek üzere bir test alanı belirlenmiştir. Belirlenen test alanı, çok yoğun bir trafik akışına sahip olan 1. Köprü bağlantı yoluna Balmumcu mevkiinde eşlik eden yeşil alandır (Şekil 7).

2.2. Metot

Darmstad, Olson ve Forman (1996)'a göre modern peyzaj ekolojisi, ünite-mozaik paradigmasına (patch – mosaic paradigm) dayanmaktadır. Bu konsept doğrultusunda peyzajlar, birbirinden farklı ünitelerin mozaikleri olarak ele alınmaktadır. Araştırma alanının yeşil sistem değerlendirmesi, peyzaj patern analizinden elde edilen nicel bulguların, bütüncül bir bakış açısıyla yorumlanması sonucunda gerçekleştirilmiştir.

McGarigal (2002)'a göre Peyzaj Patern Analizi'nin amacı, ünite mozaığının bileşimini ve mekânsal düzenini karakterize etmektir ve bu maksatla birçok metrik geliştirilmiştir.

Araştırmada öncelikle Forman ve Godron (1986) ve Forman (1995) tarafından tanımlanan ünite-koridor-matris modelini referans alan bir peyzaj patern analizi yapılmış, yeşil alan sistemini meydana getiren strüktürel unsurlar sınıf ve peyzaj düzeyi metrikler yardımıyla yorumlanmıştır. Metriklerin hesabı için McGarigal, Cushman ve Ene (2015) tarafından tasarlanan

Fragstats v4.2.1 yazılımından yararlanılmıştır. Peyzaj düzeyi metrikler, yazılımın “Hareketli Pencere” (Moving Window) modülü yardımıyla konumsal hale getirilip harita üzerinde

görselleştirilmiştir. Hareketli pencere analizinde 100 m. yarıçaplı dairesel pencere tercih edilmiştir. Patern analizine tabi tutulan peyzaj ve sınıf düzeyi metrikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. McGarigal vd. (2015) ve McGarigal (2002)’ye göre seçilen peyzaj ve sınıf düzeyi metrikler.

Metriğin Türkçe Adı	Metriğin İngilizce Adı	Kısaltma	Tanımlama
Sınıf Alanı	Class Area	CA (ha)	Sınıfın toplam alanı
Peyzaj Yüzdesi	Percentage of Landscape	PLAND (%)	Sınıfın toplam alandaki yüzdesi
Ünite yoğunluğu	Patch Density	PD (n/100ha)	Birim alana düşen ünite sayısı
Ünite Sayısı	Number of Patches	NP	Söz konusu sınıfın veya peyzajın ünite sayısı
En Büyük Ünite İndeksi	Largest Patch Index	LPI (%)	En büyük ünitenin peyzajdaki yüzdesi
Etkili Ağ Boyutu	Effective Mesh Size	MESH (ha)	Sınıfa ait toplam ünite alanının toplam peyzaja oranlanmasıyla elde edilen alandır (ha)
Peyzaj Şekil İndeksi	Landscape Shape Index	LSI	Maksimum düzeyde kümelenmiş sınıfın toplam kenar uzunluğunun minimum kenar uzunluğuna bölümü (hücre yüzeyi sayısı olarak)
Ünite Alanı (Alan ağırlıklı ortalama)	Patch Area-Area-Weighted Mean	AREA_AM (ha)	Bir sınıfın veya peyzajın tüm ünitelerine genellenmiş ayrı ünitelerinin alan ağırlıklı ortalama büyüklüğü (Leitão vd., 2006)
En yakın komşunun öklit mesafesi (Alan ağırlıklı ortalama)	Euclidean Nearest-Neighbor Distance-Area-Weighted Mean	ENN_AM (m)	Hedef ünite ile aynı sınıfa ait en yakın komşusu arasındaki en kısa mesafenin alan ağırlıklı ortalaması
Kümelenme İndeksi	Aggregation Index	AI (%)	Ünitelerin peyzaj içerisindeki kümelenmelerinin derecesi
Simpson’un Çeşitlilik İndeksi	Simpson's Diversity Index	SIDI	Her bir ünite tipinin karesinin orantısal çeşitliliğinin toplamının 1’den farkıdır.

Özellikle Yol ve Yol Kenarı Yeşil Alan sınıflarının yorumlanmasına öncelik verilmiştir. Bunun için bu iki sınıfa ait metrik değerleri genel peyzaja ait bulgularla kıyaslanmış ve sınıflar arasındaki durumu tayin edebilmek üzere diğer sınıfların verileriyle karşılaştırılmıştır.

Patern analizinden elde edilen bilgi sentezlenerek, yol ağlarına eşlik eden yeşil alanların, yeşil sistem içerisindeki konumları da dikkate alınarak, peyzaj ekolojisi ve sürdürülebilir planlama çerçevesinde bütüncül bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Kentsel yeşil alanlar, insan faaliyetlerinin kirlilik, gürültü, kentsel ısı adası oluşumu gibi olumsuz sonuçlarının etkisini frenler ya da tamamen ortadan kaldırırlar. Ancak kentsel peyzaj içerisinde lokal ve noktasal birer ada olarak kalmış yeşil ünitelerin bütüncül bir fayda sağlaması zordur. Bu nedenle araştırmada ulaşım ağlarına eşlik eden çizgisel karakterdeki yeşil alanlar, başta bağlayıcı etkileri dolayısıyla peyzaj deseninin önemli bileşenleri olarak peyzaj ekolojisi çerçevesinde değerlendirilmiştir. Örnek olarak seçilen alanda ayrıca arazi gözlemleri, rasgele zamanlarda gürültü düzeyi, partikül madde ve emisyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Peyzaj struktürü ve fonksiyonu bakımından ele alınan araştırma alanı ile ilgili son

olarak, özellikle ulaşım sistemi ve ulaşım sistemine eşlik eden yeşil alanlar düzeyinde, sürdürülebilir planlama ve kentsel peyzaj tasarımı çerçevesinde öneriler sunulmuştur

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Bulgular

Beşiktaş Yeşil Alan Sistemi’nin başta kent ekosistemi ile ilgili olmak üzere, çok yönlü olarak değerlendirilebilmesini sağlayacak bulgular elde edilmiştir. “Yolların” ve “Yol Kenarı Yeşil Alanların” peyzaj paterni içerisindeki analitik değerlendirmesi, genel peyzaja ve diğer sınıflara göre, metrik değerleri üzerinden yapılmıştır. Peyzaj düzeyi hareketli pencere analizinden elde edilen haritalar yarı saydam hale getirilerek uydu görüntüsü ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede metrik yorumlamaları peyzaj genelindeki desenlerin dağılımına göre yapılabilmektedir.

3.1.1. Peyzaj Düzeyi Analiz Bulguları

Seçilen Peyzaj düzeyi peyzaj metrikler Fragstats v4.2.1. yazılımının (McGarigal vd., 2015) “Hareketli Pencere” (Moving Window) modülünde analiz edilerek metrik sonuçları konumsal hale getirilmiştir (Şekil 4a-f).



-a-



-b-



-c-



-d-

Şekil 4. Peyzaj Düzeyi Hareketli Pencere (Moving Window) analiziyle konumsal hale getirilmiş peyzaj metrikleri. (a) SIDI sonucu (b) PD sonucu (c) LSI sonucu (d) LPI sonucu (e) ENN_AM sonucu (f) AI sonucu.

SIDI sonuçları değerlendirildiğinde (Şekil 4a), çeşitlilik indeksinin yoğunlaştığı alanların daha ziyade yapı parsellerinin olduğu bölgelere denk geldiği görülmektedir. Ancak Türkali, Dikilitaş, Ortaköy gibi yapılaşma düzeyinin yüksek olduğu alanlarda, SIDI değerinin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu kısımlarda yapısal yüzeylerin blok parçalar halinde bütünleşmesinin ve aralarda çok kısıtlı miktarda yeşil dokunun sokulmasına izin vermesinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu etki, çeşitlilik değerini düşürmektedir. Özellikle birinci ve ikinci köprülerin ana arter niteliğindeki bağlantı yollarında da SIDI

indeksinin düşük olduğu görülmektedir. Barbaros Bulvarı'nda SIDI indeksi ağırlıklı olarak en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu arterde, köprü çevre yollarına kıyasla çeşitliliğin yüksek çıkmış olması, yola komşu olan alanlardaki doku farklılıklarından (yol ağaçları, farklı tipolojide yapı parselleri vb) kaynaklandığı düşünülmektedir. Yeşil alan tipleri incelendiğinde, özellikle korulara denk gelen kısımlarda SIDI değerinin düştüğü dikkat çekmektedir. Bu durum, kuru alanlarının baskın ve homojen bir karakter sergilediğini düşündürmektedir. Kuru alanlarının bu stabil yapısı yeşil alan sisteminde merkezi rol

üstlenmeleri açısından sevindiricidir. Yollara blok halde eşlik eden yeşil alanlarda da SIDI değerinin düşük olması, bu alanların araç yollarının olumsuz etkilerini dengelemek bakımından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Yapısal yüzeyler tarafından sekteye uğrattıkları alanlarda, çeşitlilik arttığından, SIDI değeri hemen yükselmektedir.

PD değerinin daha çok yapısal alanlarda yoğunlaştığı fakat yapı parsellerinin blok halde birleştiği ve devamlılık arz ettiği alanlarda düştüğü görülmektedir (Şekil 4b). PD değeri düşük olan alanlar olarak yollar ve korular dikkat çekmektedir. Bu durum, iki sınıfa ait ünitelerin büyük ve blok parçalar halinde olduğunu göstermektedir.

LSI değeri blok halde ünitelerin kümelenmediği alanlarda daha düşük çıkmıştır (Şekil 4c). Bu durum blok ünitelerin birleşerek geometriğe yakın bir şekilde sınır oluşturmalarını göstermektedir. Bu durum, yapısal yüzeyler için beklenen bir özellik olsa da özellikle büyük ve bütüncül ünitelere sahip olan koruların yoğunlaştığı alanlarında da LSI değerinin düşük çıkması, koruların doğal yapıda girintili çıkıntılı olan kenar özelliklerini terk ettiklerini göstermektedir. Bu durum biyolojik çeşitlilik açısından özellikle kenar alanları tercih eden türler açısından olumsuz şartlar meydana getirmektedir. Bunun dışında ana yol güzergahlarında da LSI değerinin düşük çıkması beklenen bir durum olmuştur. Bu yapı, yolların çizgisel bariyer etkisini teyit etmektedir.

LPI değerinin en yüksek olduğu alanların sahil hattındaki ve alanın en kuzeyindeki korulara denk gelmesi, sevindirici bir bulgu olmuştur (Şekil 4d). Bu durum özellikle yeşil sistem içerisindeki bağlantısallığın pekiştirilmesinde koru alanlarının merkezi bir rol üstleneceğini göstermektedir.

ENN_AM değerinin ana arterlere denk gelen kısımlarda yükseldiği görülmektedir (Şekil 4e). Bu bulgu, blok halde peyzajı geçen yolların alan ağırlıklı ortalama bakımından birbirine uzak olarak konumlandığını göstermektedir.

AI değerleri özellikle korulara ve yollara eşlik eden yeşil alanlara ait ünitelerin belli bölgelerde kümelenmediğini göstermektedir (Şekil 4f). Bu bölgeler, yeşil sistem içerisinde bağlantısallığın güçlendirilmesine öncelik verilmesi gereken, bütünleşmeye yatkın bölgelerdir.

3.1.2. Sınıf Düzeyi Analiz Bulguları

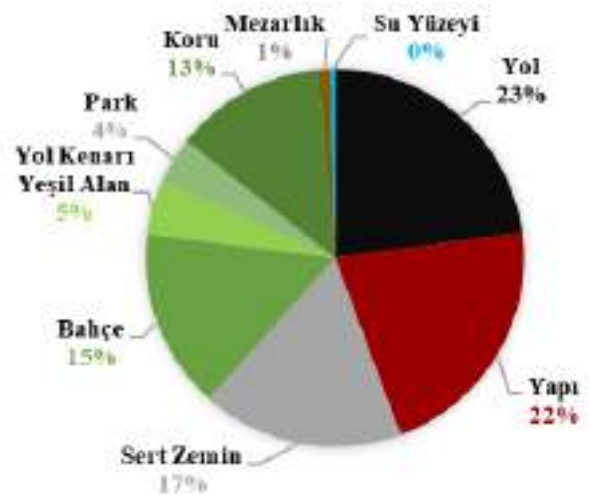
Sınıf düzeyi peyzaj metrik değerleri Tablo 2’de görülmektedir. Araştırma alanındaki yapay yüzeyleri, “Sert Zemin”, “Bina” ve “Yol” sınıfları oluşturmaktadır. Yeşil alan olarak ise “Park”, “Mezarlık”, “Koru”, “Bahçe” ve “Yol Kenarı Yeşil Alan” sınıfları değerlendirilmiştir. Çok minimal bir peyzaj yüzdesine sahip olan “Su Yüzeyleri” ile ilgili metrik değerleri ise genel anlamda biyolojik çeşitliliğin, ekolojik ağların ve sınıflar arası ilişkilerin yorumlanmasına ışık tutmuştur.

Tablo 2. Sınıf Düzeyi peyzaj metrik değerleri arasında “Yol Ağlarının” ve “Yol Kenarı Yeşil Alanların” durumu.

Biyotop Tipi	CA	PLAND	NP	PD	LPI	LSI	AREA_AM	ENN_AM	MESH
Yol	416,49	22,85	5.258	288,52	19,16	130,44	292,74	2,44	66,90
Yapı	391,51	21,48	14.214	779,95	0,27	143,66	0,24	4,60	0,05
Sert Zemin	315,10	17,29	15.389	844,42	0,28	201,60	0,72	3,17	0,13
Bahçe	280,54	15,39	6.212	340,86	0,85	106,99	2,09	5,09	0,32
Yol Kenarı Y.A.	86,12	4,73	583	31,99	1,31	33,68	7,76	7,16	0,37
Park	71,12	3,90	300	16,46	0,65	26,13	3,25	30,39	0,13
Koru	234,49	12,87	63	3,46	3,34	29,73	38,71	20,88	4,98
Mezarlık	20,97	1,15	11	0,60	0,30	4,82	3,79	99,20	0,04
Su Yüzeyi	6,11	0,34	630	34,57	0,05	27,45	0,18	45,47	0,01

Peyzaj düzeyi metrik bulgularına göre LPI değeri incelendiğinde “Yol” sınıfının LPI değeri ile aynı olduğu görülmektedir. Bu durum, peyzaj içerisinde blok halde yer alan Yol sınıfına ait ünitelerin, baskın olduğunu göstermektedir. Alansal olarak da en yüksek peyzaj yüzdesine (PLAND=22,8533) sahip olan yolların peyzajı domine ettiği anlaşılmaktadır (Şekil 5).

“Yol” sınıfının bütün ve büyük parçalardan oluştuğu, metrik değerlerinden anlaşılmaktadır. Bununla birlikte ünite sayısının (NP=5.258) yüksek olması, peyzaj içerisinde ne kadar baskın bir sınıf olduğuna işaret eden diğer bir göstergedir. Sınıf içerisindeki alan ağırlıklı ortalama değerini veren AREA_AM (292,7406) metrik değeri de tüm peyzaj alanına göre ortalama alan büyüklüğünü hesaplayan MESH (66,9010) metriğine göre de bu sınıf en baskın sınıf konumundadır. Bu değerler tüm peyzaj düzeyindeki alan ağırlıklı ünite büyüklüğü değerinin (AREA_AM=72,9163) de çok üstündedir.



Şekil 5. Sınıflara göre Peyzaj Yüzdesi (PLAND) dağılımları.

Peşaj düzeyinde ENN_AM değeri 8,3803 iken ‐Yol‐ sınıfında bu değerin 2,4370'e düşmüş olması, bu sınıfa ait blok haldeki baskın ünitelerin birbirine ne kadar yakın olarak konumlandığını ve peşaj ortalamasına göre çok daha yoğun bir yapı oluşturduğunu göstermektedir. Bu nedenle yol ağları, biyotop olmanın ötesinde peşaj içerisinde çizgisel karaktere sahip bariyerler olarak algılanmaktadır.

Farina (1998)'ya göre bir koridor, başka habitat tipleri tarafından çevrelenmiş, dar habitat şeridi olarak tanımlanabilir. Bitkiler ve hayvanlar, bir koridorda enine rahatlıkla hareket edebilirler. Ancak tür davranışındaki en büyük çeşitlilik, koridorlar boyunca mevcuttur. Bu nedenle enine çizgisel bariyer teşkil eden yapılar, tür davranışlarını olumsuz yönde en çok etkileyen yapılardır. Şekil 6.'de araştırma alanını enine ve boyuna parçalara ayıran başlıca ulaşım aksları görülmektedir.



Şekil 6. Araştırma alanında çizgisel bariyer teşkil eden ulaşım aksları.

Kent peşajı içerisinde rakamlara da yansıyan yolların bu baskın etkisi, çizgisel karakterdeki Yol Kenarı Yeşil Alanlar tarafından hat boyunca dengelenebilmektedir. Ancak Yol Kenarı Yeşil Alan sınıfının peşaj ve sınıf düzeyi metrik değerleri incelendiğinde, araştırma alanında bu sınıfın ne kadar yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. Başta peşaj yüzdesi bakımından kıyaslandığında Yol Kenarı Yeşil Alanların %5'lik oranla yol ağlarının çok gerisinde kaldığı görülmektedir. ENN_AM değerinin (7,1610) yüksek çıkması, bu sınıfa ait ünitelerin birbirinden uzak kaldığını göstermektedir. NP (583) ve LPI (1,3126) değerlerinin de bir hayli düşük çıkması, bu sınıfa ait az sayıdaki ünitenin geniş alanlara yayılmadığını göstermektedir. Ünite yoğunluğu değerinin (PD=31,9901) düşük çıkması da bu bulguyu desteklemektedir. LSI değerleri de Yol Kenarı Yeşil Alanların (LSI=33,6816) Yollara (LSI=130,4348) göre daha geometriğe yakın sınırlar arasında kaldığını göstermektedir. Bu değer peşaj ortalamasının (LSI=141,0255) da çok altındadır. Geometrik bir karaktere sahip olmalarına rağmen yollara ait LSI değerinin bu kadar yüksek çıkmış olması da Yol sınıfını

oluşturan ünitelerin birleşmek suretiyle kompleks bir şekil yapısına büründüğünü göstermektedir.

Yol Kenarı Yeşil Alanların diğer yeşil alan tipleriyle ilişkilerine bakıldığında Peşaj içerisinde yeşil alan olarak hakimiyet kuran Bahçeler ve Korular dikkat çekmektedir (PLANDBahçe=15,40 PLANDKoru=12,87). Bahçelerin daha parçalı bir yapı oluşturduğu NP ve PD değerlerinin yüksek oluştundan da anlaşılmaktadır. Buna karşılık korular daha bütünlük parçalarla peşaj içerisinde temsil edilmektedir. Yeşil alan kategorisi içerisinde koruların en yüksek en büyük ünite indeks değerine (LPI=3,3352) sahip olması da bu bulguyu desteklemektedir. Bu bütünlük yapı, koruların yeşil alan sisteminde merkezi bir rol üstlendiklerini göstermektedir. Bu yapıları nedeniyle kentsel peşaj içerisinde yeşil sistemin devamlılığını sağlamak üzere yol kenarı yeşil alanlarla ilişkili hale getirilmeleri önem kazanmaktadır. Bahçeler, korulara nazaran daha küçük ünitelerle temsil edilseler de alansal olarak en fazla alan kaplayan yeşil alan sınıfıdır. Bu sınıfta korulara göre daha küçük üniteler görülmektedir ancak üniteler arası, alan ağırlıklı ortalama mesafeye bakıldığında bahçelere ait ünitelerin korulara ait ünitelere göre birbirine daha yakın konumlandığı anlaşılmaktadır.

3.1.3. Yeşil Alan Sistem Değerlendirmesine Yönelik Bulgular

İstanbul Beşiktaş İlçesi özelinde yapılan patern analizi neticesinde, koru alanlarının yeşil sistem içerisinde merkezi bir rol üstlendiği tespit edilmiştir. Yolların peşajı çizgisel bir karakterde bölen ve Forman (1995)'ın mekânsal dönüşüm süreçlerinden ‐Açıklama‐ (Dissection) şeklinde tanımladığı etkisini tolere etmek üzere, bu yollara eşlik eden yeşil alanların ne kadar önemli olduğu anlaşılmıştır. Yollar gibi lineer karaktere sahip olan bu yeşil alanlar, merkezi rol üstlenen bütüncül yeşil ünitelerin birbirine bağlanmasında koridor olarak işlev görebilecek yapıdır. Bu bakımdan özellikle yol kenarı yeşil alanların tasarım ve planlama sürecinde, yeşil sistem içerisinde böylesine önemli bir sorumluluk üstlenebileceği bilinci ile hareket edilmesi gerekmektedir.

Yol kenarı yeşil alanlarla ilgili bulguların, bu karaktere sahip örnek bir alan üzerinde değerlendirilmesi, yeşil sistem içerisindeki rollerin tanımlanmasına katkı sağlayacaktır. Bu nedenle köprü yolu gibi ana bir artere Balmumcu Mahallesi'nde eşlik eden yeşil alan, daha kapsamlı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 7).

Beşiktaş'ta doğu yönüne açık konumlarından ötürü köprülere bağlanan arterlerde rüzgâr koridoru oluşmaktadır. Bu konum bir yandan ilçe hava kalitesinin yükselmesine katkı sağlarken diğer yandan bu güzergahlara eşlik eden yeşil alanlar için olumsuz koşullar oluşturmaktadır. Halihazırda egzoz gazlarının etkisi altında olan bu alanlarda hem bu gazlara karşı toleranslı hem de rüzgâr etkisini tolere edebilecek türler tercih edilmelidir. Ancak olumlu bir etki olarak hava akımları, zararlı gazların yoğunlaşmasını da ertelemektedir.



Şekil 7. Birinci köprü bağlantı yoluna eşlik eden yeşil alan (Balmumcu-Beşiktaş). (KAYNAK: Google Earth, 2018)

Balmumcu Yol Kenarı Yeşil alanının arka planında geniş yapraklı karma bir ağaç dokusu yer almaktadır (Şekil 8). Fakat bu doku, besin kaynağı açısından zayıf bulunmuştur. Geniş yapraklı çalılarının oluşturduğu seyrek bir alt doku mevcuttur. Ancak bu doku, yemiş veren doğal çalı gruplarından oluşmadığı için kuşlar için cazip değildir. Alanın açıklık, çim örtüsü ile kaplanmış kısımlarında kelebek türleri görülmemektedir.



Şekil 8. Yeşil alanın odunsu bitki dokusu.

Yol kenarı yeşil alanlarda bakım ve sulama isteyen çim örtüsünün tercih edilmesi, biyoçeşitliliği de bloke eden bir unsur haline gelmektedir. Buna karşılık bakım ve sulama gerektiren çim alanın güneyinde, kendi haline bırakılmış olan patikada doğal otsu vejetasyonun baş göstermesine paralel olarak kelebek faunasının da çeşitlendiği dikkat çekmektedir (Şekil 9,10).



Şekil 9. Çim alanın güneyinde doğal vejetasyona terk edilmiş patika ve özellikle küçük kelebekler için önemli bir yaşama ortamı teşkil eden çiçekli otsu vejetasyon.



Şekil 10. Yol kenarı yeşil alanlarda çiçekli otsu vejetasyona sahip alanlarda kelebekler için oluşan yaşama ortamlarına örnekler.

Demir (2013)'in Beşiktaş İlçe Merkezi kapsamında gürültü düzeyleriyle ilgili yaptığı çalışmada, en yüksek ortalama gürültü düzeylerini ana yol güzergahlarının yakınında ölçmüştür. Bu çalışmaya göre Barbaros Bulvarı Zincirlikuyu Otobüs

Durağı ortalama 79,55 dB, Akaretler Yokuşu ort. 75,48 dB, Beşiktaş Meydanı ort. 72,78 dB, ve Çırağan Caddesi ort. 70,12 dB gürültü düzeyine ulaşmaktadır.

Beşiktaş İlçesi kapsamında yürütülen araştırmanın bulgularına göre de ortalama gürültü düzeyinin 65 dB değerini aştığı noktalar, “Barbaros Bulvarı” ve “FSM Köprüsü Çevre Yolu Bağlantısı” olarak tespit edilmiştir. Bu değerlendirmelerden de anlaşılacağı gibi kentsel bir peyzajda gürültü düzeyinin baskın rol oynadığı alanlar, ana yol arterleri ile yakından ilişkilidir.

Örnek alan olarak seçilen Balmumcu Yol Kenarı Yeşil alanında da ortalama 67,65 dB ses şiddeti ölçülmüştür. Beklendiği gibi alanın ilçeden geçen ana arterin bitişiğinde yer almasıyla bu alanda yaşayan canlıları en çok etkileyen faktörlerden birisi de gürültü olarak tespit edilmiştir. Bu bulguya bağlı olarak, gürültü ve emisyonun olumsuz etkisinin, yaşama ortamını kullanan canlı sayısını sınırlandırabileceği düşünülmüştür.

3.2. Tartışma

Turner, Gardner ve O’Neill (2001)’e göre; Peyzaj Ekolojisi, mekansal desenlerle ekolojik süreçler arasındaki etkileşim üzerinde durmaktadır. Bu nedenle mekansal desenlerin peyzaj metrikleriyle ölçülerek tanımlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Leitão, Miller, Ahern ve McGarigal (2006), peyzaj metriklerini, peyzaj ekolojisi konularını planlamaya dahil etmek üzere kullanışlı ve temel araçlar olarak değerlendirmişler ve peyzaj metriklerinin, peyzaj bileşenlerinin hem zaman hem de mekân içerisindeki düzenlenişlerini ölçebilme özelliğinin, arazi planlıları ile yöneticilerine büyük umutlar vaat ettiğini ifade etmişlerdir.

Sınıf ve peyzaj düzeyi metrik değerlendirmesinin yanı sıra, ayrıca test alanında gerçekleştiren yerinde gözlem ve ölçüm verilerinden elde edilen bulgular doğrultusunda, yeşil sistemin zamanla bozulmaya uğradığı ve bağlantısallık ilişkilerinin zayıfladığı görülmektedir. Bu bulgudan hareketle kentsel yeşil sistemlerde bağlantısallığı sağlayacak unsurların geliştirilmesinin ne kadar elzem olduğu anlaşılmaktadır. Yoğun kentleşme baskısı altında ve merkezi konuma sahip olan alanlarda özellikle yol ağlarının parçalayıcı etkisi dikkat çekmektedir. Bu nedenle çizgisel bariyerleri dengeleyebilecek olan yine çizgisel karakterde birimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaca cevap verebilecek unsurların başında, yollara eşlik eden yeşil alanlar gelmektedir.

Bu çalışmada yol kenarı yeşil alanlar, yeşil sistemdeki konumları göz önünde bulundurularak, peyzaj strüktürü, peyzaj fonksiyonu, yaşama ortamı teşkil etme, trafik kontrolü ve estetik açılarından değerlendirilmiştir. Ayrıca kullanım ihtiyaçları da göz önünde bulundurularak “Kentsel Peyzaj Planlama ve Yönetim” kararlarına ışık tutacak şekilde öneriler getirilmiştir.

3.2.1. Peyzaj Fonksiyonu Açısından Yol Kenarı Yeşil Alanlar

Hava akımlarının etkisiyle yol boyları, partikül maddenin de yoğun olarak etkili olduğu alanlardır. Bu nedenle özellikle odunsu ve herdemyeşil bitkilerin toz tutma potansiyelleri bu alanlarda önem kazanmaktadır (Şahin, 1989, s.61). Yol kenarı yeşil alanlar, doğru bir bitkisel tasarım ile araç yollarından kaynaklı emisyon, toz, gürültü gibi olumsuz etkileri absorbe etme özelliğine sahiptir (Nasrullah, Tatsumoto ve Misawa, 1994, s.328). Bu açıdan değerlendirildiğinde ana arterlere eşlik eden

bu alanların, gürültü kontrolü açısından son derece önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle gerekli olan alanlarda, suni gürültü perdeleriyle birlikte tasarlanmaları gerekmektedir.

Beşiktaş’ta doğu yönüne açık konumlarından ötürü birinci ve ikinci köprü arterlerinde rüzgâr koridoru oluşmaktadır. Bu konum bir yandan ilçe hava kalitesinin yükselmesine katkı sağlarken diğer yandan bu güzergahlara eşlik eden yeşil alanlar için olumsuz koşullar oluşturmaktadır.

Yapay topoğrafya oluşumları açısından değerlendirildiğinde yol kenarı yeşil alanlar, yapıların kat yüksekliğine bağlı olarak topoğrafyada meydana gelen ani iniş-çıkışlar arasında geçiş zonu oluşturma potansiyeline sahiptir. Öyle ki binalarla yollar arasında yer alan bu alanlarda tercih edilen özellikle odunsu karakterdeki bitkiler hem yükseltti hem de doku bakımından tedrici bir geçiş sağlayarak rüzgâr koridoru, yüzeyel akış, ısı yoğunlaşmaları gibi olumsuz oluşumları dengeleyebilmektedir.

Kar yağışının olduğu günlerde buzlanmayı önlemek üzere yollarda yapılan tuzlama çalışmalarının da birincil etki alanı yine yol kenarı yeşil alanlardır. Ayrıca özellikle kış aylarında yol arterleri boyunca meydana gelen rüzgâr koridorlarının ekstrem dondurucu etkisinin de en çok hissedildiği alanlardır. Bu nedenlerle de yine tercih edilecek bitki türlerinin dayanıklı ve yöre şartlarına uyumlu olması önem kazanmaktadır.

3.2.2. Peyzaj Strüktürü Açısından Yol Kenarı Yeşil Alanlar

Peyzaj içerisinde yollar, habitatları parçalayan temel unsurlardandır. Bu nedenle hem kullanıcı güvenliği hem de biyoçeşitliliğin sağlanması için etkili bir şekilde planlanmaları ve yönetilmeleri gerekmektedir (Forman ve Deblinger, 2000, s.46). Elde edilen metrik bulguları, Beşiktaş İlçesi’nin 1963-2014 yılları arasındaki süreçte, peyzaj strüktürü bakımından doğaldan yapaya doğru hızlı bir dönüşüm içerisinde olduğunu göstermektedir. Yeşil doku parçalanmakta ve bütünlüğünü kaybetmektedir. Özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu güney batı mahallelerinde (Dikilitaş, Abbasağa, Gayrettepe, Türkali, Muradiye) Forman (1995)’in tanımladığı fragmantasyon sürecinin etkileri yoğun olarak hissedilmekte ve yeşil doku, birbirinden kopuk küçük üniteler halini almaktadır. Araştırma Alanı’nda yollar %23’lük yüzdeyle en fazla alan kaplayan yapılarıdır. Peyzaj strüktürü içerisinde çizgisel yapılarıyla yarılmalarda yeşil sistemi parçalayan yollar, başta popülasyon hareketi için bariyer teşkil etmektedir.

Kent ekosisteminde yollara eşlik eden yeşil alanlar da çizgisel karakterdeki elemanlardır. Bu özellikleriyle küme ya da ünite halindeki merkezi yeşil alanları bağlayıcı ve birbiriyle ilişkilendiren bir yapıya sahiptirler. Bu ilişkilerin kurulmasında araştırma alanında merkezi ünite teşkil etme potansiyeline sahip olan korular ve ev bahçeleri öncelikli olarak ele alınmalıdır. Bu yapılar arası bağlantısallığı kuvvetlendirecek her türlü tasarım ve planlama kararına öncelik tanınması, kent içi yeşil sistemin devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Yeşil sistem içerisindeki bağlayıcı unsur olma özellikleri nedeniyle yol kenarı yeşil alanların tür hareketliliğini teşvik edecek besin, barınma, üreme ortamı teşkil etme gibi potansiyellere de sahip olmaları gerekir. Ayrıca bu potansiyeller, tasarım önceliği olarak da değerlendirilmelidir.

Dixon ve Wolf (2007)’a göre yol ağaçlandırmalarının, yol kenarı yeşil alanların lineer etkisini sürdüreceği şekilde ele alınması ve salt estetik kaygılarla gerçekleştirilen bir yol

ağaçlandırmasının yeşil alan sisteminin diğer unsurlarıyla ters düşmemesi gerekir.

3.2.3. Yaşama Ortamı Olarak Yol Kenarı Yeşil Alanlar

Refüjlerdeki yeşil dokunun otsu ya da odunsu karakterde olması, barındırdığı fauna grupları bakımından farklılık göstermektedir. Odunsu doku kuş ve yarası gibi uçabilen türler için son derece önemlidir. Çiçek açan karma bir otsu vejetasyonun varlığı ise yaşamlarını sürdürmek üzere özellikle açıklıklara ihtiyaç duyan kelebekler için önem taşımaktadır (Şekil 10).

İstanbul İli, coğrafi konumu itibarıyla çok çeşitli türlere ev sahipliği yapabilecek niteliktedir. Yollara eşlik eden yeşil alanlarda toz, tuzlama, emisyon, rüzgâr koridoru gibi olumsuz etkenler baskın olduğu için, bu alanlarda yer alacak bitkilerin yüksek bir dirence sahip olması gerekir. Bu nedenle adaptasyonu yüksek, doğal türler tercih edilmelidir. Bu yeşil alanlar kendi haline bırakıldığında, İstanbul'un zengin biyolojik çeşitliliği hemen kendini göstermektedir. Uçarak alana gelip çimlenen türlerden oluşan doğal otsu bir vejetasyon, kendiliğinden oluşabilmektedir (Şekil 9). Bu vejetasyonun oluşmasını teşvik edecek küçük müdahaleler dahi yol kenarı yeşil alanların, yaşam ortamı teşkil edecek şekilde kendini geliştirmesi açısından yeterli olacaktır.

Yol kenarı yeşil alanlarda tesviyeye bağlı olarak meydana gelen eğim nedeniyle erozyon probleminin oluşmaması için saçak köklü toprak tutucu odunsu bitkilerle takviyelerin yapılması yerinde bir karar olur. Bu türlerin de yine bakım isteği az, olumsuz koşullara karşı direnci yüksek nitelikte olması ve yaşama ortamı olarak refüjlerden yararlanan fauna gruplarına besin ve barınma imkânı sunması gerekir.

Yol kenarı yeşil alanları tasarlanırken, belli fauna gruplarına yaşama ortamı teşkil etme özelliği dikkate alınmadan, salt estetik unsurlar göz önünde bulundurularak yapılan bitki türü tercihlerinde, biyo-çeşitliliğin hemen azaldığı tespit edilmiştir. Oysaki fauna grupları için yaşama ortamı teşkil etmeyen yol kenarı yeşil alanların, yeşil sistem içerisinde bağlayıcı ve tür hareketini teşvik edici fonksiyonlarını tam anlamıyla yerine getirebilmeleri de mümkün görünmemektedir.

Özellikle bakım isteyen (sulama, ot temizliği, havalandırma v.b.) çim sahaların tesis edilmesinin çok yönlü handikapları bulunmaktadır (Kırca ve Sevinç, 2020).

Bu sahalar hem tesisi hem de bakımı esnasında ekstra bir maliyet gerektirmektedir. Karma çim dokusu içerisinde çiçek açan türlerin yer almaması, kelebek, arı gibi türler açısından bir cazibe yaratmamaktadır. Bu türlerin bulunmadığı alanlar kuşlar tarafından da tercih edilmemektedir. Ayrıca çim türleri, özellikle yüksek eğim derecelerinde erozyon önlenmesine nispeten düşük düzeyde katkı sağlayabilecek bir yapıya sahiptir.

Yollara eşlik eden yeşil alanlar uçamayan diğer türler, özellikle memeliler için tehlikeli olabilirler. Ancak kısıtlı bir ortamda yaşamını sürdüren sürüngenler için elverişli ortamlar oluşturularak bu alanlardaki biyolojik çeşitlilik artırılabilir. Örneğin kot farklarını bağlamak üzere, derzlerinde kertenkele, böcek gibi birçok canlıya barınma imkânı sunan kuru taş duvarlar tercih edilebilir (Şekil 11).



Şekil 11. Kuru taş duvarların derzleri kertenkele gibi sürüngenler için yaşama ortamı teşkil ederler.

Neticede yol kenarı yeşil alanlara dikilecek bitki türü tercihlerinin, hedef canlı gruplarına beslenme ve barınma imkânı sağlayabilecek nitelikte olmasına dikkat edilmesi, olabildiğince yemiş veren doğal türlerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Aynı şekilde bu gibi alanlarda yer alan yapısal donatıların (duvar, çit v.b.) malzeme tercihlerinde yaşama ortamı teşkil etme kriterlerine dikkat edilmesi, bilinçli tercihlerde bulunulması, kertenkele gibi başkaca türler için aynı zamanda barınma ve yaşama ortamı oluşturmak adına önem taşımaktadır.

3.2.4. Trafik Kontrolü Açısından Yol Kenarı Yeşil Alanlar

Yol kenarı yeşil alanların değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli konu da ulaştırma yönetimi ve tasarımıdır. Bu alanlarda kullanılacak bitkiler, trafik seyrini aksatmayacak ve yönlendirecek niteliklere de sahip olmalıdır. Özellikle ulaşım ağlarının yoğun ve işlek olduğu kentsel peyzajlarda, refüjlerin trafik kontrolü açısından önemi daha da artmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Zincirlikuyu Kavşağı ve eşlik eden yeşil alanlar. (KAYNAK: Google Earth, 2020)

3.2.5. Estetik Açısından Yol Kenarı Yeşil Alanlar

Özellikle yoğun ulaşım ağlarına sahip büyük şehirlerde bu yollara eşlik eden yeşil alanlar, aynı zamanda şehrin imaj unsurlarıdır. Yoğun trafik akışı sırasında belli bir güzergâh boyunca görsel algıya hitap eden bu alanların, aynı zamanda estetik unsurları da barındırması gerekir. Ancak bu estetik algının kent imajını destekleyen odunsu bitkilerle üçüncü boyuta taşınması bu alanların hem fonksiyonel ve ekolojik görevlerini karşılar, hem de kimlikli bir yapı kazandırmak suretiyle estetik algıyı destekler.

Kent ekosistemi açısından değerlendirildiğinde estetik kaygılar, fonksiyonel özellikleri yansıtabilme potansiyelinin önüne geçmemelidir. Estetik yaklaşımların fonksiyonel yapıyı destekleyici nitelikte olması gerekir. Fazla bakım isteyen, olumsuz etkilere karşı direnci nispeten zayıf olan bitki türleri, salt estetik kaygılarla tercih edilmemelidir. Estetik yapıyı destekleyen tasarımlarda, özellikle tür seçiminde ekolojik döngüleri destekleyen, fauna grupları için yaşama ortamı teşkil eden bitki türlerine ağırlık verilmelidir.

3.2.6. Yol Kenarı Düzenlemelerinde Yeşil Cephe Sistemleri ve Dikey Bahçeler

Peşaj yüzdesi bulguları incelendiğinde, yol ağlarının %23'lük bir yüzdeyle araştırma alanında en baskın sınıf olduğu görülmektedir. Buna karşılık yollara eşlik eden yeşil alanların yüzdesi sadece %5'lik bir oranda kalmaktadır. Bu bulgu, yolların kent içindeki olumsuz etkilerini kırarak nitelikteki yeşil alanların yetersizliğini göstermektedir. Bu nedenle günümüzde gündemde olan yeşil duvar, dikey bahçe gibi sistemler, ekolojik ve fonksiyonel anlamda büyük önem taşımaktadır. Ancak güncel uygulamalar incelendiğinde bu tür sistemlerde kent ekosistemini desteklemek, yeşil sistemde bağlayıcı bir fonksiyon üstlenmek gibi vazifelerin ötesinde tasarım kaygısının daha çok estetik olduğu görülmektedir. Özellikle yol ağlarına eşlik edebilecek yeşil alanlar için pay olmayan kısımlarda; yol ağlarının yerleşim, ticaret, sanayi amaçlı kullanım mekanlarına doğrudan komşu olduğu alanlarda, yeşil sistemin bağlayıcılık görevini üstlenebilecek alternatif sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tip alanlarda nispeten dar bir alanda tesis edilebilen dikey bahçe ve yeşil cephe gibi sistemler, olabildiğince yol kenarı yeşil alanların rollerini üstlenebilecek nitelikte tasarlanmalıdır. Aksi takdirde oldukça masraflı olabilen bu sistemler, bol sulamaya ve bakıma ihtiyaç duyan, egzotik ve kısa ömürlü bitki türleri kullanılarak tesis edilirse yeşil sistemin desteklenmesine ve ekolojik anlamda görevler üstlenmek adına yetersiz kalacaktır. Ancak sürdürülebilir bir sistem algısıyla, ekosistem mantığı içerisinde kurgulanan yeşil cephe sistemleri ve dikey bahçeler, özellikle yolların kenarında yeşil alan tesis edecek pay bulunmayan kısımlarda yeşil sistemi sürdüren hayati bir görev üstlenebilirler.

4. Sonuç

Özellikle kentsel peşajlarda yol ağlarına eşlik eden yeşil alanlar, kent ekosisteminin hem fonksiyonel hem yapısal anlamda önemli bileşenleridir.

Test alanında yapılan gözlemler, egzotik türlerle yapılan ve çiçek açan tür sayısı az olan bitkilendirmelerde, doğal haline terk edilmiş ve doğal çiçek açan otsu vejetasyona sahip alanlara kıyasla fauna çeşitliliğinin azaldığını göstermiştir. Buna karşılık doğal otsu vejetasyonun görüldüğü alanlarda özellikle kelebek faunasının da çeşitlendiği dikkat çekmiştir. Odunsu dokuda ise yenebilen yemiş veren türlerin yer almasıyla birlikte böcek ve kuş türlerinin çeşitlendiği görülmüştür.

Özellikle ana arterlere eşlik eden yeşil alanların gürültü, toz, emisyon, tuzlanma, rüzgâr koridoru gibi olumsuz etkilere maruz kalması, bu etkilere karşı toleransı yüksek bitki türlerinin tercih edilmesini gerektirmektedir. Bu olumsuz etkiler zaten bu yaşama ortamını kullanan canlı sayısını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle refüj alanlarında dikilecek bitki türü tercihi yapılırken hiç değilse hedef canlı gruplarına beslenme ve barınma imkânı sağlayabilecek nitelikte olmasına dikkat edilmelidir. Olabildiğince yemiş veren doğal türler kullanılmalıdır.

Bu gibi alanlarda yer alan istinat duvarları sarmaşıklarla sardırıldığında kuşlar ve sürüngenler için yaşama ortamı teşkil edebilir. Ayrıca yapı malzemesi tercihinde de yaşama ortamı teşkil etme kriterine dikkat edilmelidir.

Bitkilerin peşaj için sağladıkları fonksiyonel ve ekolojik fayda, biyo-kütleleri ile doğru orantılıdır. Özellikle yol kenarı yeşil alanlarda salt estetik kaygılarla bakıma muhtaç çim alanların çalılara ve ağaçlara tercih ediliyor olması, bu fonksiyonel yaklaşımla çelişmektedir. Gerek biyo-çeşitliliği artırmak gerekse sağladıkları oksijen miktarı ve havayı filtreleme kapasiteleri bakımından odunsu bitkiler tercih edilmelidir. Yaşama ortamı teşkil etmesi bakımından otsu doku farklı fauna gruplarına hizmet etmektedir ve bu çeşitlik için de ortam oluşturulmalıdır ancak bu dokunun da kendi haline terk edilmiş, farklı ve çiçek açan otsu türleri barındıran doğal bir yapıda olması tercih edilmeli ve mutlaka odunsu doku ile birlikte çözümlenmelidir.

Alansal olarak büyüklükleri göz önünde bulundurulduğunda yol kenarı yeşil alanlarda, sulama ve bakım ihtiyacı duyan çim alanların ve mevsimlik bitki parterlerinin tesis edilmesi, maliyeti arttıran bir tercihtir.

Nitelikli bir refüj ve yol ağaçlandırması, öncelikle peşaj yapılarında yeşil sisteme sağlayacağı fiziksel ve bağlayıcı katkı ve peşaj fonksiyonu açısından kent ekosistemini destekleyici özellikler açısından ele alınmalıdır. Refüjlerin trafik kontrolüne engel olmayacak, aksine destekleyecek bir karakterde olması gerekir. Estetik kaygılar, yukarıda bahsedilen öncelikli yaklaşımlarla birlikte ele alınmalı ve değerlendirilmelidir.

Özetle:

- Fiziksel karakterdeki yapıları dolayısıyla yol kenarı yeşil alanlar, yeşil sistem içerisinde yer alan ve kentleşme baskısıyla adacıklar şeklinde izole olmuş merkezi konumdaki yeşil üniteleri bağlayabilecek, birbirleriyle ilişkilendirebilecek nitelikte çok önemli bir rol üstlenirler. Planlama ve tasarım kararları alınırken, kent ekosistemi içerisinde yol kenarı yeşil alanların bu önemli fonksiyonuna öncelik verilmelidir.
- Yol kenarı yeşil alanların gürültü-toz-emisyon-tuzlanma gibi olumsuz etkileri absorbe edebilecek karakteristiklere sahip olmaları gerekir.
- Rüzgâr ve gürültüyü perdeleyebilecek türlerle tesis edilmeleri gerekir.
- Eğim yüksekse erozyonu engelleyecek karakterde tasarlanmalıdırlar.
- Belli fauna grupları için yaşama ortamı teşkil etmelidirler.
- Popülasyon hareketini destekleyebilmeleri için çevresel faktörlere karşı direnci yüksek olan doğal türlerden oluşmalıdırlar.
- Asgari düzeyde bakım ihtiyacı duyan doğal odunsu ve otsu türler tercih edilmelidir.
- Trafik yönetimini destekleyici nitelikte olmalıdırlar.
- Yol kenarında alan yetersizliği nedeniyle sekteye uğradıkları kısımlarda, sürdürülebilirlik kriterleri ve ekosistem algısıyla kurgulanmış dikey bahçe ve yeşil cephe gibi sistemlerle desteklenmeleri gerekmektedir.

• Kent kimliğini yansıtabilecek estetik unsurları da barındırmalıdır.

Kaynakça

- Ahern, J. (2004). Greenways in the USA: Theory, Trends and Prospects. In: Ecological Networks and Greenways Concept, Design, Implementation. Pp 34-55. Ed: Jongman, R.H.G. ve Pungetti, G., Cambridge University Press, UK. ISBN: 0 521 53502 6
- Bentrup, G. (2008). Conservation buffers. Design Guidelines for Buffers, Corridors, and Greenways. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.
- Çepel, N. (1994). Peyzaj Ekolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Yayınları, Üniversite Yayın No: 3868, Fakülte Yayın No: 429 Orman Fakültesi, İstanbul ISBN: 975-404-371-X
- Çepel, N. (2003). Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri. TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 180, Ankara. ISBN: 975-403-290-4
- Çepel, N. (2006). Ekoloji, Doğal Yaşam Dünyaları ve İnsan. Palme Yayıncılık, Ankara, ISBN: 975-8982-68-0.
- Darmstad, W.E., Olson, J.D., Forman, R.T.T. (1996). Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-use Planning. Harvard University Graduate School of Design, Island Press, American Society of Landscape Architects. U.S.A., ISBN: 1-55963-514-2.
- Demir, S. (2013). İstanbul'un Beşiktaş İlçe Merkezinde Gürültü Düzeyleri Belirlenerek Gürültü Haritasının Oluşturulması. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, İstanbul.
- Dixon, K.K. ve Wolf, K.L. (2007). Benefits and Risks of Urban Roadside Landscape: Finding a Livable, Balanced Response. Proceedings of the 3rd Urban Street Symposium (June 24-27, 2007; Seattle, WA). Washington D.C.: Transportation Research Board of the National Academies of Science.
- Erell, E., Pearlmutter, D., Williamson, T. (2011). Urban Microclimate. Designing the Spaces Between Buildings. Earthscan from Routledge, Taylor & Francis, London. ISBN: 978-1-84407-467-9
- Farina, A. (1998). Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman & Hall, UK ISBN: 0 412 73040 5 (PB).
- Forman, R.T.T. (1995). Land Mosaics. New York: Cambridge University Press., U.K., ISBN: 978-0-521-479980-6 (PB).
- Forman, R.T.T. (2008). Urban Regions. Ecology and Planning Beyond the City. Cambridge University Press, UK., ISBN-13: 978-0-521-67076-0 (PB).
- Forman, R.T.T. (2014). Urban ecology: science of cities. UK: Cambridge University Press. ISBN: 978-0-521-18824-1 (PB).
- Forman, R.T.T. ve Deblinger, R.D. (2000). The Ecological Road-Effect Zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway. Conservation Biology, Vol. 14, No. 1, Pages 36-46.
- Forman R. T. T. ve Godron M. (1986), Landscape Ecology. John Wiley & Sons. New York, ISBN: 0-471-87037-4.
- Gartland, L. (2008). Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. Earthscan, UK. ISBN-13: 978-1-84407-250-7.
- Hellmund, P.C. ve Smith, D.S. (2006). Designing Greenways. Sustainable Landscapes for Nature and People. Island Press, Washington, 2006. ISBN: 1-55963-329-8
- Hergül, Ö.C. ve Göker, P. (2020). Evaluating Eco-Cities With A Sustainable Perspective In Human-Nature Interaction. European Journal of Science and Technology, (21), 561-567.
- Jongman, R.H.G. (2004). The Context and Concept of Ecological Networks. Pp 7-33 In: Ecological Networks and Greenways Concept, Design, Implementation. Ed: Jongman, R.H.G. ve Pungetti, G., Cambridge University Press, UK. ISBN: 0 521 53502 6
- Jongman, R.H.G. ve Pungetti, G. (2004). Introduction: Ecological Networks and Greenways. Pp 1-6 In: Ecological Networks and Greenways Concept, Design, Implementation. Ed: Jongman, R.H.G. ve Pungetti, G., Cambridge University Press, UK. ISBN: 0 521 53502 6
- Kırca, S., Altınçekiç H., Levin, N. 2015. Landscape Continuity Analysis as a Tool for Landscape Planning: A Case Study in Istanbul, Landscape Research, 40(3): 359-376.
- Kırca, S., Sevinç, Ş. (2020) Kentlerde Etkin Doğa Koruma İçin Yol Kenarlarındaki Çim Alanlar Üzerine Bir Değerlendirme. Peyzaj Araştırmaları ve Uygulamaları Dergisi (PAUD), 2(2): 51-60.
- Kuttler, W. (2008). The Urban Climate – Basic and Applied Aspects. In: Urban Ecology, an International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature, ed: Marzluff, J.M., Shulenberg, E., Endlicher, W., Alberti, M., Bradley, G., Ryan, C., Simon, U., ZumBrunnen, C., Springer Science+Business Media, Pp: 233-248, LLC, NY. USA, ISBN: 978-0-387-73411-8.
- Leitão, A.B., Miller, J., Ahern, J., McGarigal, K. (2006). Measuring Landscapes. A Planner's Handbook. Island Press, U.S.A., ISBN: 1-55963-899-0 (PB).
- McGarigal, K. (2002). Landscape pattern metrics. In: El-Shaarawi, A.H., Pieporsch, W.W. (eds.), Encyclopedia of Environmetrics, 2. John Wiley & Sons, Chichester, England, Pp. 1135-1142, ISBN: 0-471-89997-6.
- McGarigal, K., Cushman, S.A., Ene, E. (2015). FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- Musaoglu, N., Coşkun, M.Z., Göksel, Ç., Kaya, Ş., Bektaş, F., Saroğlu, E., Üstün, B., İpbüker, C., Erden, T., Karaman, H. (2004). İstanbul Anadolu Yakası Hazine Arazilerinin Uydu Verileri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile İncelenmesi. TÜBİTAK-İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu (İÇTAG-I433) Proje Raporu, Proje No: 103I011
- Nasrullah, N., Tatsumoto, H., Misawa, A. (1994). Effect of Roadside Planting and Road Structure on No2 Concentration Near Road. Jpn. J. Toxicol. Environ. Health, 40 (4), 328-337.
- Oke, T.R. (1976). The Distinction between Canopy and Boundary-layer Urban Heat Islands. Atmosphere, 14:4, 268-277, DOI: 10.1080/00046973.1976.9648422
- Rees, W. ve Wackernagel, M. (2008). "Urban Ecological Footprints: Why Cities Cannot be Sustainable - and Why They are a Key to Sustainability", ed: Marzluff, J.M., Shulenberg, E., Endlicher, W., Alberti, M., Bradley, G., Ryan, C., Simon, U., ZumBrunnen, C., Springer Science+Business Media, Pp: 537-555, LLC, NY. USA, ISBN: 978-0-387-73411-8, 2008.
- Suri, L. 2018. "Search for Plans for Drinking Water Basins: Ömerli Drinking Water Basin as an Example," Journal of Multidisciplinary Research (1947-2900), 1(1), 0-0
- Suri, L. 2019. Kentsel Alanlarda Barınma Sorunları ve Çözüm Arayışı, ISAS WINTER-2019, Kasım, 4th International Symposium on Innovative Approaches in Architecture, Planning and Design Samsun / Turkey
- Şahin, Ş. 1989. Ankara kenti yol ağaçlarının sorunları ve peyzaj mimarlığı açısından alınması gerekli önlemler. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 372s, Ankara.
- Turner, M., Gardner, R.H., O'Neill, R.V. (2001). Landscape Ecology. In Theory and Practice, Pattern and Process, Springer Verlag, NY, USA. ISBN: 0-387-95123-7
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2017). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları., (<https://biruni.tuik.gov.tr/> ziyaret tarihi: 10.11.2018)



Grafit Cevherleşmelerinin Sentinel-2 Uydu Görüntülerinden Belirlenmesinde En Uygun Bant Kombinasyonları

Muhittin Karaman^{1*}

^{1*} İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8971-010X), mkaraman@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 31 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.945779)

ATIF/REFERENCE: Karaman M. (2021). Grafit Cevherleşmelerinin Sentinel-2 Uydu Görüntülerinden Belirlenmesinde En Uygun Bant Kombinasyonları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 749-757.

Öz

İleri teknoloji potansiyeli yüksek ülkelerin bu hedeflerini gerçekleştirmesi doğrultusunda birçok uluslararası organizasyon tarafından grafit minerali, kritik hammadde olarak tanımlanmıştır. Grafit yatakları, grafitin yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek ısıya dayanıklılığı gibi özellikleri nedeni ile ileri teknoloji konularında kullanımı ve önemi yaygınlaşan stratejik bir cevherleşmedir. Gelecekte özellikle Grafen kullanımının giderek artacak olması nedeniyle, amorf grafit yatakları bakımından zengin olan ülkemizdeki yeni grafit maden yataklarının ülke ekonomisine kazandırılmasında uzaktan algılama yöntemlerinin kullanımının değerlendirilmesi bu çalışmaya konu edilmiştir. Bu bağlamda bu yatak oluşumları için Sentinel-2 uydu görüntülerinde kullanılabilecek en uygun spektral bant kombinasyonları, optimum indeks faktörü ile belirlenmiş ve başarıları değerlendirilmiştir. Atmosferik düzeltme için geliştirilen bantlar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Grafit yataklarının, su, bitki, kömür ocakları ve diğer litolojik birimlerden başarılı bir şekilde ayrımlanabilmesini sağlayan optimum FCC (False Color Composite) renkli görüntü, [RGB 4:7:11] ve [RGB 4:8:11] kombinasyonuna aittir. Sentinel-2 uydu görüntüleri grafit yataklarının belirlenmesinde, algılayıcısının spektral aralığı ile grafitin karakteristik spektral özelliklerini barındırmakta ve başarılı sonuçlar üretmektedir.

Anahtar Kelimeler: Grafit Cevherleşmeleri, Sentinel-2, Uzaktan Algılama, Optimum İndeks Faktörü (OIF).

Optimal Band Combinations for Determining Graphite Mineralizations from Sentinel-2 Satellite Images

Abstract

Graphite raw material has been defined as a critical raw material by many international organizations in order for countries with high technology potential to achieve these goals. Graphite deposits are a strategic mineralization whose use and importance in advanced technology issues are becoming widespread due to the properties of graphite such as high thermal and electrical conductivity and high temperature resistance. The evaluation of the use of remote sensing methods in bringing new graphite mineral deposits in our country, which is rich in amorphous graphite deposits, to the country's economy, is the subject of this study, especially since the use of graphene will increase gradually in the future. In this context, the most suitable spectral band combinations that can be used in Sentinel-2 satellite images for these bed formations were determined by the optimum index factor and their performances were evaluated. Bands developed for atmospheric correction are excluded from the evaluation. The optimum FCC (False Color Composite) color image that enables the successful separation of graphite deposits from water, plants, coal mines and other lithological units belongs to the [RGB 4: 7: 11] and [RGB 4: 8: 11] combination. Sentinel-2 satellite images contain the characteristic spectral properties of graphite with the spectral range of its detector and produce successful results in the determination of graphite deposits.

Keywords: Graphite mineralization, Sentinel-2, Remote-Sensing, Optimum Index Factor (OIF).

* Sorumlu Yazar: mkaraman@itu.edu.tr

1. Giriş

Grafit, Avrupa Birliği “Kritik Hammaddeler” listesinde yer alır (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018; ENTR, 2014). Mükemmel ısı iletkenliği, mükemmel elektrik iletkenliği ve yüksek ısıya dayanıklılığı nedeni ile stratejik bir hammaddedir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018; Demirtaş vd., 2017; ENTR, 2014). Elektrikli araçlardaki artış, buna bağlı olarak lityum-iyon bataryalarda anot olarak grafitin kullanılması nedeni ile son zamanlarda grafitte ilgi oldukça artmıştır (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

Grafit, çelikten 300 kat daha sağlam, en güçlü ısı iletkeni ve en hafif ince madde olmanın yanında kolayca esneyebilme özelliği ile birçok malzeme yüzeyine çok kolay kaplanabilen, geleceğin süper moleküllü grafenin, ana kaynaklarından biridir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018). Özellikle elektrikli araç teknolojileri, kurşungeçirmez çelik yelek üretimi, uçak ve otomobil sanayiine kadar her alanda grafen kullanımının yaygınlaşacak olması (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018), grafit yataklarını ve bu yatakların aranması ve ekonomiye kazandırılmasını önemli hale getirmektedir.

Pil anotları gibi yüksek teknoloji uygulamaları, elektrikli araç, portatif elektronik cihaz ve büyük ölçekli enerji depolama alanına artan gereksinimler nedeniyle ülkemizin önemli grafit ithalatçısı olduğu (İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020) göz önüne alındığında bu yatakların ortaya çıkarılması daha da önemli hale gelmektedir. Yeni maden yataklarının ortaya çıkarılması ve grafitteki saflaştırmanın artırılması amacıyla gerekli yöntemlerin geliştirilmesi, sanayi ve ileri teknoloji potansiyeli olan ülkeler için oldukça kritik bir konudur (İlhan, Sarı, ve Çörtenlioğlu, 2020; İlhan, Sarı, ve Yıldırım, 2020; Jara vd., 2019).

Bu çalışmada önemli bir amorf grafit kaynağı olan ülkemizde yeni yatakların belirlenmesinde uzaktan algılama yöntemleri ve uydu görüntülerinin kullanımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Özellikle maden uygulamalarında son dönemlerde kullanımı yaygınlaşmaya başlayan Avrupa Uzay Ajansı Sentinel-2 uydu görüntülerinin grafit yatağının belirlenmesinde kullanılabilirliği incelenmiştir.

Sentinel-2 uydu görüntüleri Nadir Toprak Elementi aramalarında (Purwadi vd., 2020), demir cevherleşmelerinin aranmasında (Ge vd., 2020; Soydan vd., 2021; van der Werff ve van der Meer, 2015), hidrotermal alterasyon minerallerinin haritalanmasında (Hu vd., 2018), lityum pegmatitlerin araştırılmasında (Cardoso-Fernandes vd., 2018) kullanılmaktadır. Uydu görüntüleri kullanılarak uzaktan algılama yöntemleri ile maden alanlarının aranmasında bant oranlama, renkli görüntü bileşenleri, temel bileşen analizi gibi görüntüdeki bantların spektral kontrastını vurgulayan görüntü işleme teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Ciampalini vd., 2013; Canbaz vd., 2017; Baran, 2021).

Grafitin artan önemi ile birlikte, uzaktan algılama ile doğrudan grafit cevherleşmelerinin belirlenmesi güncel bir konudur. Sunulan çalışmada Sentinel-2 uydu görüntülerinden grafit yataklarının belirlenmesinde kullanılacak optimum bant kombinasyonlarının belirlenmesi hedeflenmiş ve Sentinel-2 görüntülerinin bu tür yataklar için kullanımı incelenmiştir. İstatistiksel bir yöntem yaklaşımı ile Sentinel-2 görüntülerinin istatistiksel parametreleri kullanılarak Optimum İndeks Faktörü ile en uygun bant kombinasyonu seçenekleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Grafit Madenleri ve Endüstriyel Kullanımı

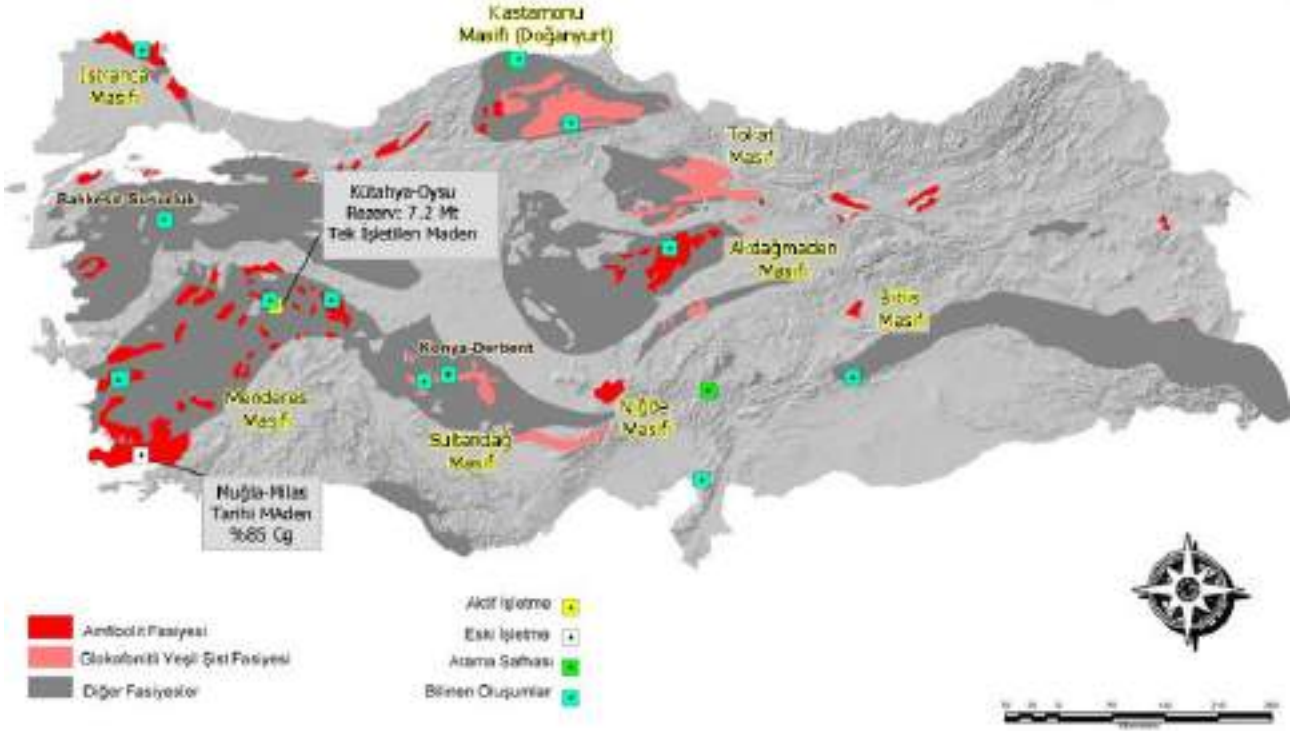
Amorf (mikrokristalin), Pul ve Damar olmak üzere doğada üç farklı formu olan Grafit siyah ve gri renkli, sertliği 1 ve yoğunluğu 2’dir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018; MTA, 2021). Rejiyonel metamorfizma alanlarında yüksek tenör ve rezervle sahip olabilen Grafit, metamorfik zonlarda şist ve mermerlerle birlikte bulunur (MTA, 2021). Yüksek dereceli amfibolitik metamorfik kayalar, granit, masifler ve yüksek termal gradyan oluşturan ana tektonik bölgelere yakın bölgelerde grafit oluşumları gözlenmektedir (İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020). Menderes Masifi, Istranca Masifi, Akdağmadeni Masifi, Sultandağ Masifi (Konya) ve Doğu Bitlis Masifi Türkiye’deki bilinen grafit yataklarının bulunduğu birimlerdir (İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020; İlhan, Sarı ve Yıldırım, 2020) (Şekil 1). Balıkesir-Susurluk, Kastamonu, Bingöl-Genç, Adıyaman-Sincik, Muğla-Milas-Yayladere, Kütahya-Oysu, İnebolu-Anday, Kahramanmaraş-Göksun, Konya, Yozgat-Akdağmadeni, İzmir-Tire-Karamersin, Tire-Çeşme, Tire-Başköy ve Kırklareli yatakları Türkiye’deki keşfedilmiş yataklardır (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018; İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020; İlhan, Sarı ve Yıldırım, 2020; Toprak, 2017). Türkiye’deki grafit oluşumları amorf tipindedir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018). Grafitleşme değeri ve tenörü açısından Yozgat-Akdağmadeni Türkiye’nin en iyi oluşumlarından.

Grafitlerin saflıklarına ve karbon içeriklerine göre kullanım alanları değişir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018; Demirtaş vd., 2017; İlhan, Sarı, ve Çörtenlioğlu, 2020). Saflığı yüksek olan grafitler, elektrik bataryaları, kuru piller, çelik sanayi ve elektrometalürji sanayiinde, kalem yapımında, elektrik cihazlarındaki elektrotlarda ve reaktörlerde kullanılır (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018; Demirtaş vd., 2017; İlhan, Sarı, ve Çörtenlioğlu, 2020). Buna karşın saflığı düşük ve karbon içeriği düşük olan grafit ise refrakter kaplama, dökümcülük, boya sanayii, gres yağlarında kullanılır (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018; Demirtaş vd., 2017; İlhan, Sarı, ve Çörtenlioğlu, 2020; İlhan, Sarı, ve Yıldırım, 2020; Toprak, 2017). Ayrıca lastik, araba balataları, motor yağlarında katkı malzemesi olarak kullanılırken, yüksek ateş ve asite dayanıklılığı nedeni ile pota ve laboratuvar malzemelerinin yapımında da kullanılır (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018; İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020).

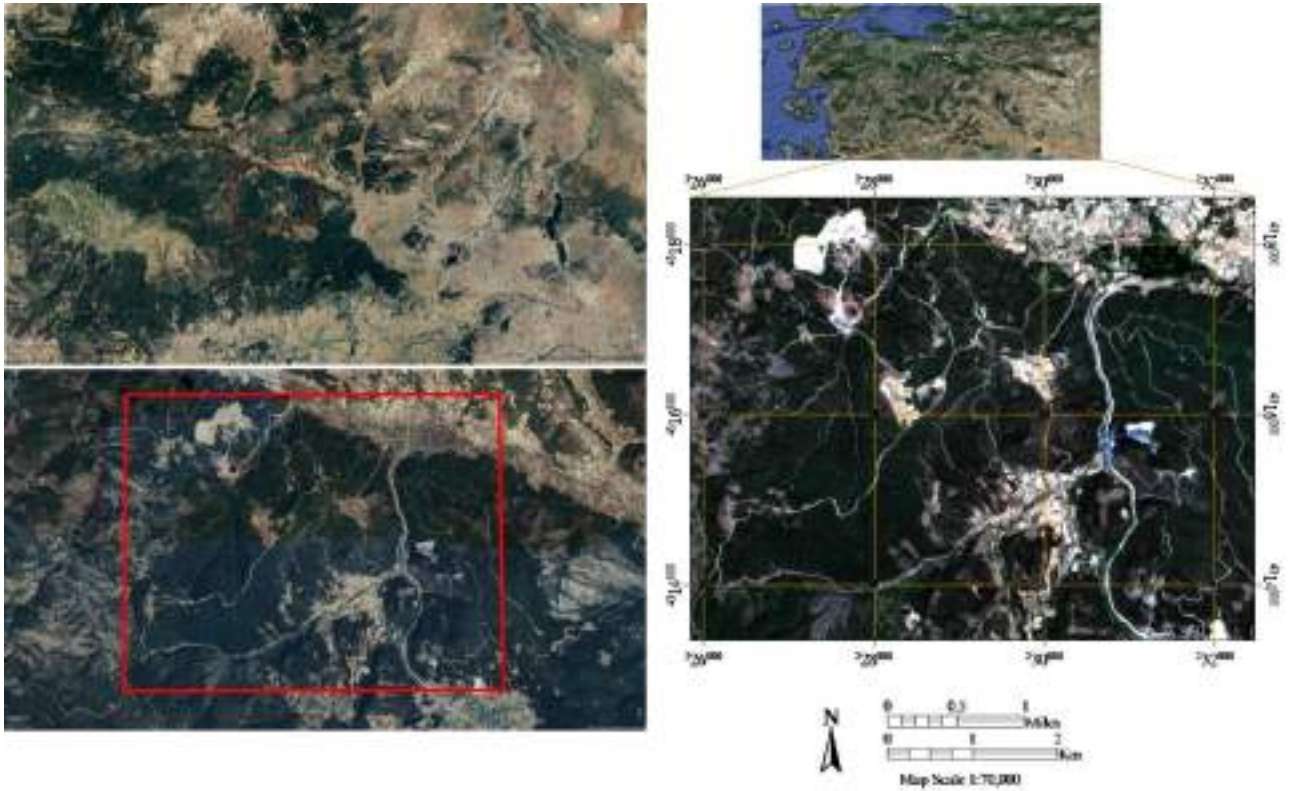
2.2. Çalışma Alanı: Kütahya-Oysu Grafit Cevherleşmesi

Çalışma alanı Türkiye’nin 1990’lı yıllarda başlayan ve aktif olarak işletilen grafit madeninin yer aldığı Kütahya-Oysu yatağıdır (Şekil 2). Özellikle 2004 yılından itibaren grafit talebinin artmasına bağlı olarak yeniden üretimin devam ettiği bölgede (İlhan, Sarı, ve Çörtenlioğlu, 2020), grafit mineralizasyonu Üst Paleozoik yaşlı Emirgazi Formasyonu içinde gelişmiştir (Tufan ve Batar, 2015). Bu birimde grafit oluşumu, amfibolit gnays, şist, kuvarsit ve mermer ile birlikte bulunur (Tufan ve Batar, 2015). Cevher kalınlığının 5-10m arasında değiştiği birimde, cevher zonları tektonizmanın etkisiyle yüksek deformasyon geçirmiştir (Tufan ve Batar, 2015). Eski bir kömür seviyesinin kristalin bir seri içinde bu serinin metamorfizması sonunda oluşan Oysu Grafit cevherleşmesi, mikro kristalin ve makro kristalin grafit türündedir (Karabacak, 2021). Cevherleşmenin metamorfik tabakalar boyunca yayıldığı yatak (Tufan ve Batar, 2015), 7.2 milyon ton grafit cevheri içerirken yatağın potansiyeli 125 milyon tondur (İlhan, Sarı, ve

Çörtenlioğlu, 2020; Karabacak, 2021). Flotasyon yöntemi ile amorf grafit üretiminin gerçekleştiği yataкта aynı zamanda Antimuan ve Kaolen cevherleşmeleri de bulunmaktadır (Karabacak, 2021).



Şekil 1 Türkiye'de grafit oluşumları, yatakları ve metamorfik kayalar ile litolojik ilişkileri (İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020)



Şekil 2 Çalışma Alanının Google Earth üzerinde görünümü

2.3. Sentinel-2 Uydu Görüntüsü

Grafit maden alanının uydu görüntüleri ve uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenmesine ilişkin değerlendirmede Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency: ESA) tarafından ücretsiz olarak sağlanan Sentinel-2 uydu görüntüsünün ikinci seviyede işlenmiş (Level-2A) görüntüsü Copernicus Open Access Hub sistemi üzerinden (<https://scihub.copernicus.eu>) temin edilmiştir. Sentinel-2 uydu görüntüleri uzamsal çözünürlükleri 10, 20 ve 60 m olarak değişen spektrumun görünür yakın kızılötesi (Visible and Near InfraRed: VNIR) bölgesinde 10 bant ve Kırsaldalga Kızılötesi (ShortWave InfraRed: SWIR) bölgesinde 3 bant içerir (Tablo 1). ESA Sentinel-2 Level-2 görüntüleri, sistemsel olarak geometrik ve atmosferik düzeltmeleri, ortorektifikasyonu yapılmış görüntülerdir. Sentinel-2 Level-2 görüntülerindeki piksel değerleri aynı zamanda Atmosfer Altı Yansıma değerlerine (Bottom-of-atmosphere (BOA) reflectance) sahiptir. Sentinel-2 Level-2 görüntüleri atmosfer üstü radyans değerlerine (Top-Of-Atmosphere (TOA)) sahip 1. Seviye (Level-1C) ortorektifiye görüntülerden Sen2Cor algoritması ile üretilmektedir (ESA, 2013; MuellerWilm, 2019).

Tablo 1 Sentinel-2 Uydu Görüntüsünün spektral ve uzamsal özellikleri (ESA, 2013)

Bant	Merkezi Boyu (nm)	Dalga (nm)	Bant Genişliği (nm)	Uzamsal Çözünürlük (m)
1	443		20	60
2	490		65	10
3	560		35	10
4	665		30	10
5	705		15	20
6	740		15	20
7	783		20	20
8	842		115	10
8A	865		20	20
9	945		20	60
10	1375		30	60
11	1610		90	20
12	2190		180	20

2.4. Görüntü İşleme

Değerlendirmelerde Sentinel-2 uydu görüntüsü bantlarından 60 m uzamsal çözünürlüklü 443 nm'deki 1. Bant, 945 nm'deki 9. Bant ve 1375nm'deki 10. Bant, atmosferik parametrelerin çıkarımı ve atmosferik düzeltme için tasarlandığından (ESA, 2013) bu çalışmadaki değerlendirmelerde kullanılmamıştır. Geriye kalan farklı uzamsal çözünürlükteki 10 Bant, en yakın komşuluk algoritması (nearest neighbor) ile 10 metreye yeniden örneklenerek tüm bantlarda aynı uzamsal çözünürlük elde edilmiştir. 290 km çerçeve genişliğine sahip uydu görüntüsü çalışma alanını kapsayacak şekilde kesilerek 81 km x 44 km genişliğinde çalışma alanına ait alt çerçeve elde edilmiş ve değerlendirmelerde kullanılmıştır. Sentinel-2 uydu görüntülerinin sayısal görüntü işlemleri ESA tarafından geliştirilen SNAP ver.8.0.3 yazılım aracı ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan görüntülerin projeksiyon ve datumu sırasıyla UTM (Zon 35) ve WGS84'tür.

2.5. Referans Harita

Grafit maden sahasına ait açık işletme sınırlarının çıkarımı ve yapılan analizlerin doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla kullanılacak referans veri üretiminde Google Earth üzerinden

Maxar Teknoloji şirketi (<http://www.maxar.com>) tarafından sağlanan ve Sentinel-2 uydu görüntüsüne yakın tarihli, 30 Ağustos 2019 tarihli yüksek uzamsal çözünürlüklü uydu görüntüsü kullanılmıştır. Yüksek uzamsal çözünürlüklü görüntüden grafit cevherleşme zonu, açık maden ocağı işletme sınırları, stok saha sınırları gibi tüm bileşenler kolayca ayrımlanabilmektedir (Şekil 3).

2.6. Optimum İndex Faktör (OIF)

Optimum indeks faktörü istatistiksel bir değerdir (Chavez vd., 1982). Uydu görüntülerinde normal doğal renkli görüntü (True Color) farklı normal olmayan yalancı renkli görüntü (sahte renk-false color) oluşturmak amacıyla kullanılacak optimum 3 bant bileşeninin belirlenmesi ve bantları istatistiksel bilgilerine göre sıralamak için kullanılan yaygın bir istatistik yöntemidir (Shawky vd., 2019). Optimum bantların belirlenmesinde bantlar arasındaki korelasyon ve varyans istatistikleri kullanılır (Chavez vd., 1982; Pournamdari vd., 2014).

Uydu görüntüsündeki tüm olası 3-bant kombinasyonlarından optimum bant kombinasyonu, en yüksek miktarda 'bilgi' (= standart sapmaların en yüksek toplamı) ve en az tekrarlama miktarı (bant çiftleri arasında en düşük korelasyon) olanıdır (Ren ve Abdelsalam, 2001; Shawky vd., 2019; van der Meer vd., 2012). 3 farklı bant diziliminin farklı kombinasyonlarından üretilen OIF değerleri, uydu görüntüsündeki bantlarından oluşan 3 bandın olası kombinasyonlarının sayısı belirlendikten sonra (N=10) (1) (ILWIS Yardım Dokümanı) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (2) (Chavez vd., 1982; Pournamdari vd., 2014).

$$\binom{N}{3} = \frac{N!}{(3! * (N-3)!)} \quad (1)$$

$$OIF = \frac{Std_i + Std_j + Std_k}{|Corr_{i,j}| + |Corr_{i,k}| + |Corr_{j,k}|} \quad (2)$$

- N Görüntüdeki kullanılan toplam bant sayısı,
 Std_i Std_j Bant i, j ve k 3 farklı bant olmak üzere
 Std_k bantların standart sapması,
 Corr_{ij} Bant i, j ve k 3 farklı bant olmak üzere bu
 Corr_{ik} farklı bantlar arasındaki korelasyon katsayısı,
 Corr_{jk}

Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait 10 bandın kullanıldığı çalışma alanına ait çerçeve için bantların farklı kombinasyonlarından üretilen OIF değerleri 52North GmbH firması tarafından geliştirilen (<http://52north.org/ilwis>) ILWIS Open ver 3.8.6 yazılımı ile hesaplanmıştır. Sırasıyla i) uydu görüntüsü bantlarının raster veri olarak (Map List) yazılım ortamına aktarılması, ii) bantlara ait varyans-kovaryans matrisi veya korelasyon matrisinin hesaplanması, iii) her bir 3 bantlı kombinasyonun OIF değerinin hesaplanması ve iv) OIF değerlerinin sıralanması, işlem aşamasıyla her bir bant kombinasyonunun OIF değerleri elde edilmiş ve en yüksek OIF değerine sahip kombinasyonlar belirlenmiştir.



Şekil 3 a)Çalışma alanında kömür madeni (turkuaz renkli alan) ve grafit madeni (kırmızı renkli alan) açık işletmesi b)Grafit Madeni açık işletmesinde açık işletme sınırları (kırmızı renkli alan), cevher zonları (mavi renkli alan), stok sahası (sarı renkli alan)

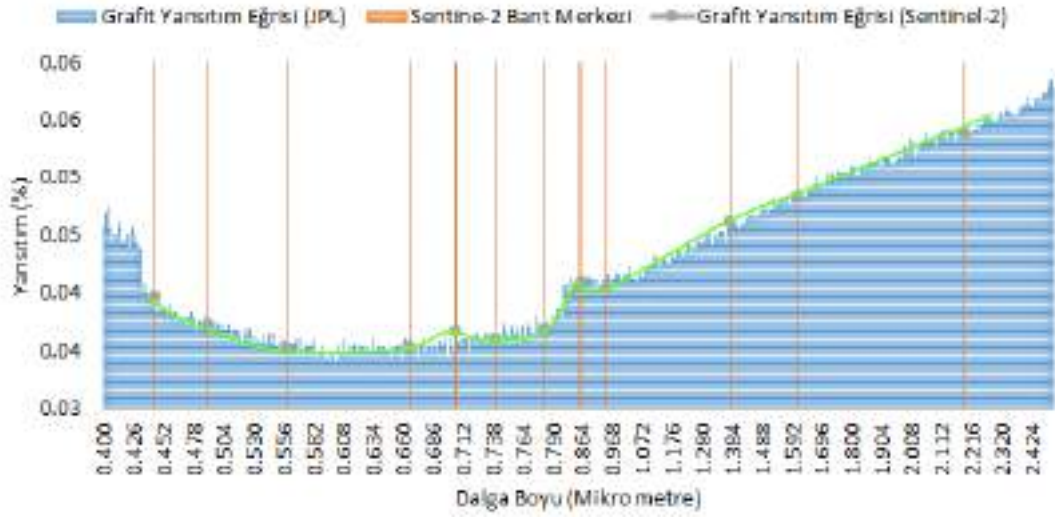
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Grafit Minerali Spektral Özellikleri

Grafit minerali spektral özellikleri, Jet Propulsion Laboratory (JPL) (Grove vd., 1992) tarafından (https://speclib.jpl.nasa.gov/documents/jpl_desc) 0.4-2.5 μm aralığında üretilmiş spektral kütüphanelerden derlenmiştir (Şekil 4). Grafit minerali koyu renkli olduğundan diğer minerallere göre spektrumun 0.4-2.5 μm arasındaki yansıtımı oldukça düşüktür. SWIR bölgesindeki yansıtım (1610 nm ve 2190 nm) VNIR bölgesindeki yansıtıma göre yüksektir. VNIR bölgesindeki 705 nm civarındaki Bant 5'teki yansıtım piki ve buna kıyasla bu bölgeye komşu 740 nm (Bant 6), 783nm (Bant 7) ve 665 nm'deki (Bant 4) emilim karakteristiktir.

3.2. İstatistiksel Sonuçlar

ILWIS'te Sentinel-2 raster bantlarından oluşturulan Map List'e ait korelasyon matrisi ve her bir bantın standart sapması elde edilmiştir (Tablo 2). 10 bantlı Sentinel-2 görüntüsünde 3 bant kullanılarak oluşturulabilecek renkli görüntü bant kombinasyonu sayısı 120'dir. Korelasyon matrisinde 490 nm (Bant 2) ile 705 nm (Bant 5) aralığındaki bantların, 783 (Bant 7) nm ile 865 nm (Bant 8A) aralığındaki bantlarla korelasyonu düşüktür. 740 nm (Bant 6) ile 865 nm (Bant 8A) arasındaki bantların da 1610 nm (Bant 11) ve 2190 nm (Bant 12) aralığındaki bantlarla korelasyonu düşüktür. Bunun tersine 1610 nm (Bant 11) ve 2190 nm (Bant 12) aralığındaki bantların 490 nm (Bant 2) ile 705 nm (Bant 5) aralığındaki bantlarla korelasyonu yüksektir (Tablo 2).



Şekil 4 JPL spektral kütüphanesinde Grafit Minerali spektrumu, Sentinel-2 uydu görüntüsü bant merkezleri, grafit spektrumunun Sentinel-2 bant merkezlerine göre yeniden örneklenmiş versiyonu (yeşil renkli)

Tablo 2 Sentinel-2 uydu görüntülerine ait bantların korelasyon matrisi ve her bir bantın standart sapması

Korelasyon	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant5	Bant 6	Bant 7	Bant 8	Bant 8A	Bant 11	Bant 12	Std. Sapma
Bant 2	1.00										454.34
Bant 3	0.99	1.00									579.47
Bant 4	0.96	0.98	1.00								866.47
Bant 5	0.93	0.96	0.97	1.00							827.63
Bant 6	0.71	0.77	0.73	0.81	1.00						644.52
Bant 7	0.58	0.64	0.59	0.68	0.97	1.00					687.49
Bant 8	0.59	0.66	0.60	0.67	0.95	0.97	1.00				742.93
Bant 8A	0.58	0.64	0.60	0.69	0.97	0.99	0.97	1.00			721.00
Bant 11	0.87	0.89	0.92	0.94	0.74	0.63	0.63	0.66	1.00		1,134.60
Bant 12	0.90	0.91	0.93	0.94	0.69	0.56	0.56	0.58	0.98	1.00	989.02

3.3. OIF Sonuçları

Tabloda verilen korelasyon matrisi ve standart sapma değerleri kullanılarak hesaplanan her bir 3'lü bant kombinasyonunun OIF değerleri belirlenmiştir (Tablo 3). OIF skorlarına göre en fazla bilgi içeren RGB bant kombinasyonları 665 nm (Bant 4), 783 nm (Bant 7) ile 865 nm (Bant 8A) ve 1610 nm (Bant 11) ile 2190 nm (Bant 12) aralıklarının kullanıldığı kombinasyonlardan oluşmaktadır. En yüksek OIF skoru NIR ve SWIR bantların RGB kombinasyonundan elde edilirken, bunları Red, NIR, SWIR1 bantlarının RGB kombinasyonları izler. Sırasıyla RGB renkli kompozit görüntülerin 8:11:12, 7:11:12, 8A:11:12, 4:8:11, 4:7:11, 4:8A:11 bant kombinasyonlarından oluşan renkli görüntülerde OIF değerleri yüksektir.

3.4. False Color Composite (FCC) görüntülerde grafit maden alanının ayrışması

OIF skoru sonuçlarına göre en iyi sonuçların elde edildiği farklı bant kombinasyonları için FCC renkli görüntüler üretilmiştir (Şekil 5, Şekil 6).

Tablo 3 her bir 3'lü bant kombinasyonunun OIF değerleri (En yüksek OIF değerine sahip 6 farklı 3'lü bant kombinasyonu)

Sıralaması	Sentinel-2B RGB FCC kombinasyonu	OIF Skoru
1.	Bant 8: Bant 11: Bant 12	1319.63
2.	Bant 7: Bant 11: Bant 12	1297.65
3.	Bant 8A: Bant 11: Bant 12	1283.31
4.	Bant 4: Bant 8: Bant 11	1270.76
5.	Bant 4: Bant 7: Bant 11	1255.47
6.	Bant 4: Bant 8A: Bant 11	1247.50

RGB (8:11:12), RGB (7:11:12) ve RGB (8A:11:12) bant kombinasyonlarından üretilen FCC renkli görüntülerde grafit madeni siyah-koyu renkli iken, bölgeye yakın konumda olan kömür madeni stokları gri renkli olarak birbirinden ayrılır. Ancak kömür madeni açık işletmesinde bulunan su havuzlarının ve baraj gölünün grafit madeni ile aynı renge sahip olması nedeni ile ayrışamadığı gözlenir (Şekil 5-b, d). Sağlıklı bitkiler kırmızı, hasat edilmiş tarım bitkileri parlak renkleri ile kolayca tanımlanabilir. RGB (8:11:12), RGB (7:11:12) ve RGB (8A:11:12) bant kombinasyonlarından üretilen FCC renkli

görüntülerde grafit madeni benzer/yakın renge sahip olduğundan sadece RGB (8:11:12) çıktısı verilmiştir (Şekil 5-b, d).

RGB (4:8:11), RGB (4:8A:11) ve RGB (4:7:11) bant kombinasyonlarından üretilen FCC renkli görüntülerde grafit madeni kırmızı renklidir (R:683 G:613 B:878). Grafit madeni bu bant kombinasyonlarında bitki, kömür madeni ve çevre litolojilerden kolayca ayrılır. Kömür madeni içindeki su havuzları ve baraj gölü siyah renklidir (R:1 G:1 B:1). Su ile grafit madeni, farklı renklere sahip olması nedeni ile bu bant kombinasyonlarında birbirinden kolayca ayrılır (Şekil 5-a, c).

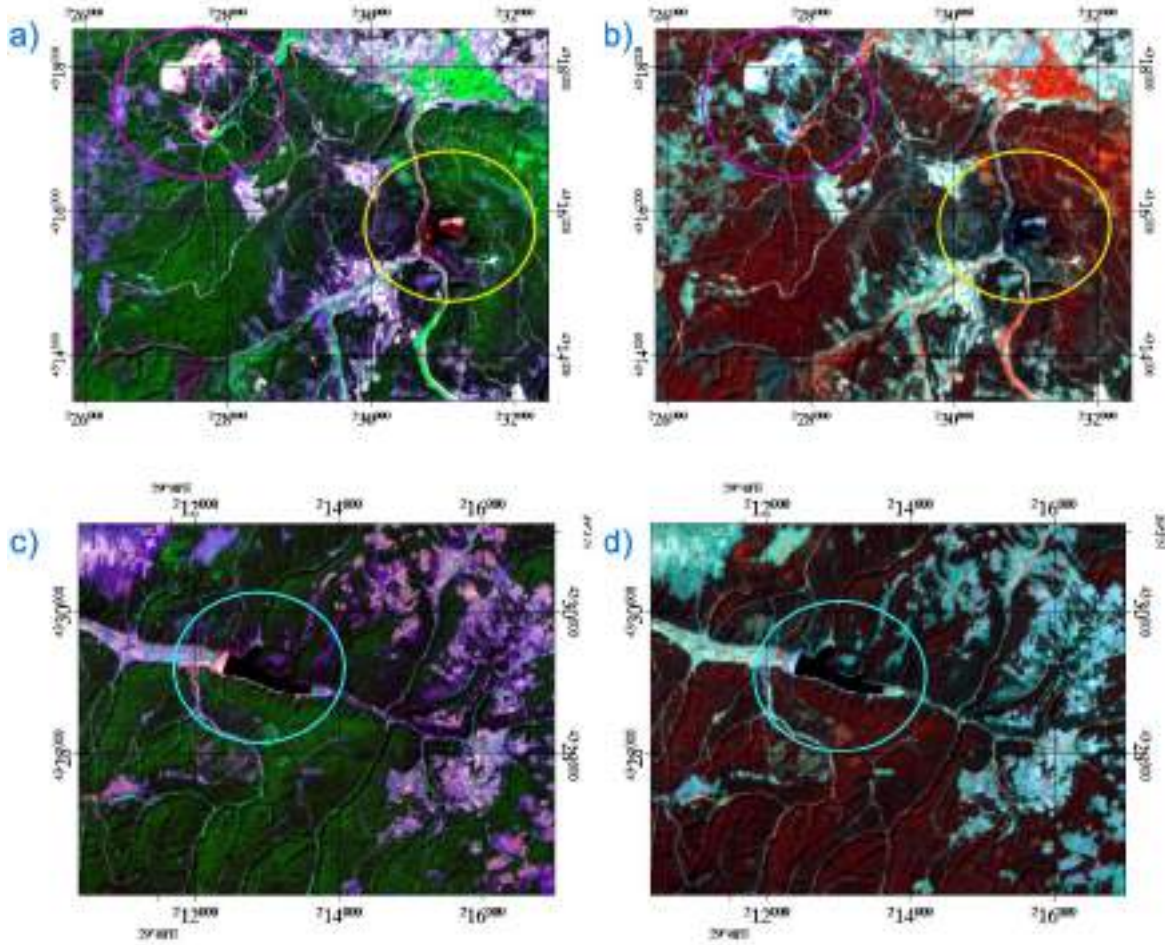
İnceleme alanında RGB (4:8:11), RGB (4:8A:11) ve RGB (4:7:11) bant kombinasyonlarından üretilen FCC renkli görüntülerde grafit madeni benzer/yakın renge sahip olduğundan sadece RGB (4:7:11) çıktısı verilmiştir (Şekil 5-a, c).

3.5. Tartışma

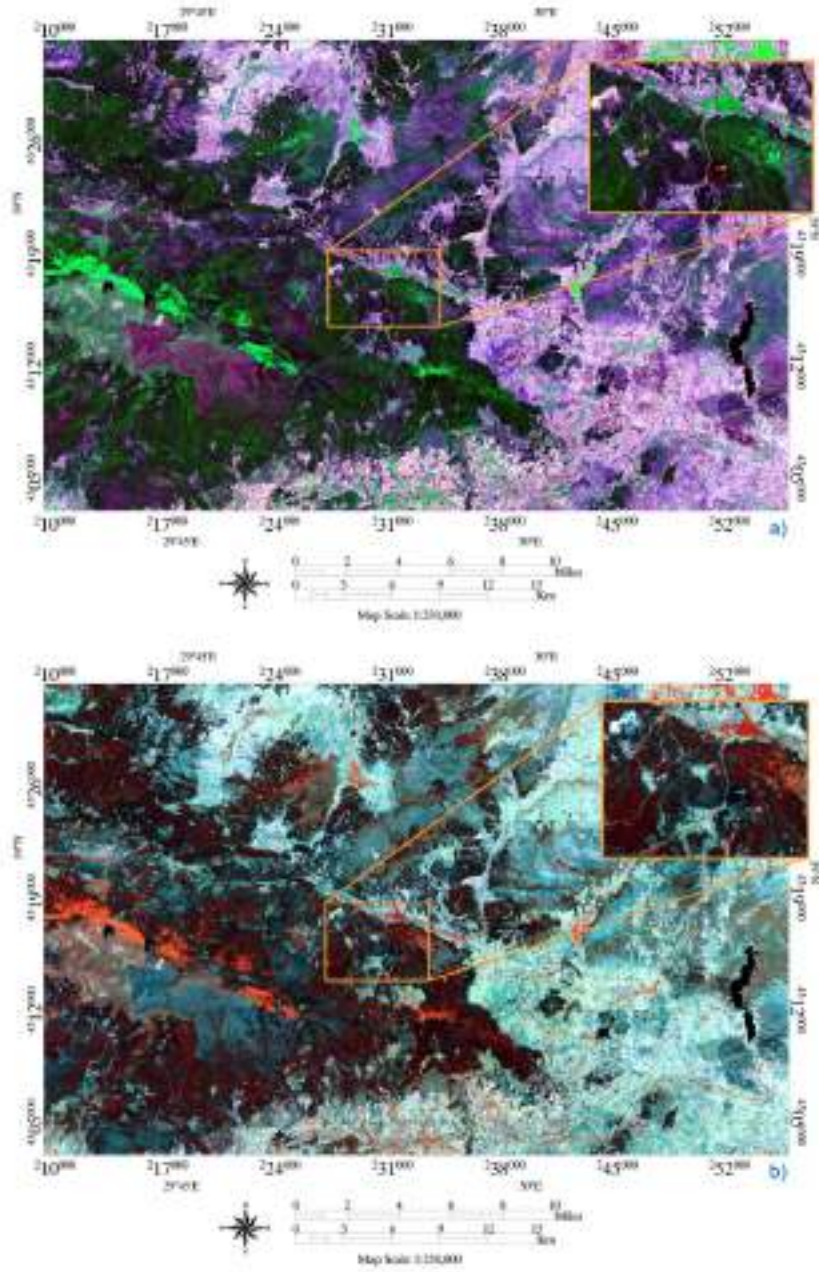
Uzaktan algılama yöntemleri ile doğrudan grafit cevherleşmelerinin belirlenmesi güncel bir konudur. Grafit mineralinin elektromanyetik spektrumun 400-2500 nm arasındaki yansıtımı yok denecek kadar azdır. JPL tarafından laboratuvar ortamında ölçülmüş spektral özelliklerinde yansıtım değerleri %0.03-%0.06 arasında ölçüldüğünde SWIR ve VNIR tarafında, emilim farklılıklarının olduğu görülür. 400-2500 nm arasında

ölçülen spektrum, Sentinel-2 görüntüsünün spektral özelliklerine göre yeniden örneklendiğinde (bkz. Şekil 4), grafit spektrumundaki emilim ve yansıtım karakteristiği olan bölgelerin algılandığı görülür. Optimum bant kombinasyonlarında RGB (8:11:12) kullanılması, kızılötesi bölgede yansıtımı olmayan/çok düşük olan su yüzeyleri ile grafit cevherleşme zonlarının karışmasına neden olur. OIF yöntemi jeolojik uzaktan algılama uygulamalarında (Gad ve Kusky, 2007; Öztan ve Süzen, 2011; Pournamdari vd., 2014; Zabcı, 2020) yaygın kullanılan bir yöntemdir. Zabcı (2020), litolojik ayırmada Sentinel-2 görüntüsüne ait [RGB 8A:10:2] FCC kombinasyonunu, Emam vd., (2018) litolojik ayırmada Landsat-OLI için FCC [RGB 6:5:1], Aster için FCC [RGB 9:4:1] kombinasyonunu belirlemiştir.

OIF yöntemi başarılı sonuçlar üretmekle birlikte, özellikle cevherleşmeye ait spektral kütüphanelerin kullanıldığı SAM (Spectral Angle Mapper) gibi eğitilmiş sınıflandırma yöntemleriyle grafit cevherleşmeleri daha ileri çalışmalara konu edilmelidir. Laboratuvar ortamında JPL tarafından ölçülen spektral kütüphane için kullanılan örnekler ile çalışılan cevherleşme alanındaki grafit minerallerinin saflık ve karbon içeriği farklı olabileceğinden, araziden alınmış örneklerin spektral özelliklerinin kullanımının etkileri de bu çalışmalarda incelenmelidir.



Şekil 5 a)RGB 4:7:11 bant kombinasyonu FCC görüntüsünde grafit maden ocağı (Sarı renkli çerçeve), kömür maden ocağı (pembe renkli çerçeve) b)RGB 8:11:12 bant kombinasyonu FCC görüntüsünde grafit maden ocağı (Sarı renkli çerçeve), kömür maden ocağı (pembe renkli çerçeve) c)RGB 4:7:11 bant kombinasyonu FCC görüntüsünde baraj gölü (turkuaz renkli çerçeve) d)RGB 8:11:12 bant kombinasyonu FCC görüntüsünde baraj gölü (turkuaz renkli çerçeve)



Şekil 6 Çalışma Alanı a) RGB 4:7:11 Bant kombinasyonu FCC görüntüsü, b) RGB 8:11:12 Bant kombinasyonu FCC görüntüsü

4. Sonuç

Grafit mineralinin SWIR bölgesindeki yansıtımının, VNIR bölgedeki yansıtıma göre yüksek olması, OIF RGB renk kombinasyonunda Bant 11 ve Bant 12'nin kullanımında maksimum bilginin elde edilmesi olasılığında da ortaya çıkmıştır. Grafit minerali spektrumunda Bant 8, Bant 5, Bant 11 ve Bant 12'deki yansıtımları karakteristikdir. Buna karşın Bant 4, Bant 6 ve Bant 7'deki diğer bantlara göre emilim gerçekleşir. RGB renk kombinasyonunda maksimum bilgiyi ortaya koyan optimum seçenek, emilimin karakteristik olduğu 2 bant ile yansıtımın karakteristik olduğu 1 bant [RGB 4:7:11] ya da yansıtım karakteristik olduğu 2 bant ile emilimin karakteristik olduğu 1 bant [RGB 4:8:11] kombinasyonu, grafit mineral cevherleşmelerinin diğer litolojik birimler ve bitki vb. diğer arazi örtüsü bileşenlerinden başarılı bir şekilde ayrımlanmasını ve tanımlanmasını sağlar.

Spektrumun VNIR ve SWIR bölgesinde uzamsal çözünürlüğü 10, 20 ve 60 m arasında değişen 13 bant içeren Sentinel-2 görüntüleri grafit cevherleşmelerinin belirlenmesinde başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Sentinel-2 uydu görüntüsü spektral özellikleri, grafit minerali yüksek spektral çözünürlüklü spektrumundaki önemli emilim ve yansımalar bölgelerinde algılayabilen bantlara sahiptir. Çalışmada sunulan yöntemle, Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak grafit cevherleşmeleri belirlenebilir.

Bu çalışmada sunulan yöntemin dışında konu ile ilgili ileri çalışmalarda, Sentinel-2 uydu görüntüsündeki her bir bantın birbiri ile olan bant oranlarından üretilen OIF değerleri ile bant oranları optimum RGB kombinasyonları üretilerek değerlendirmeler yapılabilmesi bu tür araştırmalara önemli katkılar sağlayacaktır.

5. Teşekkür

Yazar, çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin sağlanması konusundaki desteklerinden dolayı Avrupa Uzay Ajansı'na teşekkür eder.

Kaynakça

- Baran, H. (2021). Hakkâri ili baz metal yataklarının uzaktan algılama ile belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (2) , 339-347. DOI: 10.17714/gumusfenbil.829156
- Canbaz, O., Gürsoy, Ö., Gökce, A. (2017). Determination of Hydrothermal Alteration Areas by Aster Satellite Images: Ağmaşat Plato- Zara (Sivas) / Turkey Sample. *Cumhuriyet Science Journal*, 38 (3) , 419-426. DOI: 10.17776/csj.340473
- Cardoso-Fernandes, J., Teodoro, A., Lima, A. 2018. "Potential of Sentinel-2 data in the detection of lithium (Li)-bearing pegmatites: a study case" (C. 10790, s. 47). *SPIE-Intl Soc Optical Eng.*
- Chavez, P., Berlin, G., Sowers, L. 1982. "Statistical Method For Selecting Landsat MSS Ratios". *Journal of Applied Photographic Engineering* 8(1):23-30.
- Ciampalini, A., Garfagnoli, F., Antonielli, B., Moretti, S., Righini, G. 2013. "Remote sensing techniques using Landsat ETM+ applied to the detection of iron ore deposits in Western Africa". *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 4529–4546.
- Çuhadaroğlu, A. D., Kara, E. 2018. "Grafit: Bir Genel Değerlendirme". *Teknik Bilimler Dergisi*, 8(1), 14–33. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbed/330629>
- Demirtaş, M., Turan, A., Car, E., Yücel, O. 2017. "Kritik Hammaddeler". *Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi*, 183, 28–33.
- Emam, A., Hamimi, Z., El-Fakharani, A., Abdel-Rahman, E., Barreiro, J. G., Abo-Soliman, M. Y. 2018. "Utilization of ASTER and OLI data for lithological mapping of Nugrus-Hafafit area, South Eastern Desert of Egypt". *Arabian Journal of Geosciences*, 11(23), 1–22.
- ENTR, D. G. 2014. "Report on critical raw materials for the EU: Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials". *Ares* (2015) (C. 1819503).
- ESA. 2013. "SENTINEL-2 User Handbook". Paris.
- Gad, S., Kusky, T. 2007. "ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian-Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt". *Gondwana Research*, 11(3), 326–335.
- Ge, W., Cheng, Q., Jing, L., Wang, F., Zhao, M., Ding, H. 2020. "Assessment of the capability of sentinel-2 imagery for iron-bearing minerals mapping: A case study in the cuprite area, nevada". *Remote Sensing*, 12(18), 3028.
- Grove, C. I., Hook, S. J., Paylor, E. D. 1992. "Laboratory reflectance spectra for 160 minerals 0.4-2.5 micrometers: JPL Publication 92-2". Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.
- Hu, B., Xu, Y., Wan, B., Wu, X., Yi, G. 2018. "Hydrothermally altered mineral mapping using synthetic application of Sentinel-2A MSI, ASTER and Hyperion data in the Duolong area, Tibetan Plateau, China". *Ore Geology Reviews*, 101, 384–397.
- İlhan, A., Sarı, R., Çörtenlioğlu, Y. Y. 2020. "Avrupa İçin Yeni Bir Kaynak: Türkiye Grafite Oluşumları". *Madencilik Türkiye Dergisi*, 87, 5.
- İlhan, A., Sarı, R., Yıldırım, Y. 2020. "Hidden graphite resources in Turkey: a new supply candidate for Europe?". *İçinde European Geologist Journal- Mineral raw materials in Europe – Chances and challenges for domestic production.*
- Jara, A. D., Betemariam, A., Woldetinsae, G., Kim, J. Y. 2019. "Purification, application and current market trend of natural graphite: A review". *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(5), 671–689.
- Karabacak, M. 2021. "Mikrokristalin Doğal Grafite – Karabacak Madencilik". Tarihinde 30 Mayıs 2021, adresinden erişildi <http://www.karabacakmaden.com.tr/2021/01/17/mikrokristalin-dogal-grafit/>
- MTA, G. M. 2021. "Grafite". Tarihinde 30 Mayıs 2021, adresinden erişildi <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/grafite>
- MuellerWilm, U. 2019. "Sen2Cor Configuration and User Manual".
- Öztaş, N. S., Süzen, M. L. 2011. "Mapping evaporate minerals by ASTER". *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1651–1673.
- Pournamdari, M., Hashim, M., Pour, A. B. 2014. "Spectral transformation of ASTER and Landsat TM bands for lithological mapping of Soghan ophiolite complex, south Iran". *Advances in Space Research*, 54(4), 694–709.
- Purwadi, I., van der Werff, H. M. A., Lievens, C. 2020. "Targeting rare earth element bearing mine tailings on Bangka Island, Indonesia, with Sentinel-2 MSI". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, 102055.
- Ren, D., Abdelsalam, M. G. 2001. "Optimum Index Factor (OIF) for Aster data; examples from the Neoproterozoic Allaqi Suture, Egypt". *Geological Society of America*, 336, 289–290.
- Shawky, M. M., El-Arafy, R. A., El Zalaky, M. A., Elarif, T. 2019. "Integrated image processing and GIS-based techniques using knowledge-driven approaches to produce potential radioactivity map for the uraniferous granite of Egypt". *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 8(1), 185–197.
- Soydan, H., Koz, A., Düzgün, H. Ş. 2021. "Secondary Iron Mineral Detection via Hyperspectral Unmixing Analysis with Sentinel-2 Imagery". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 101, 102343.
- Toprak, S. 2017. "Grafite, Ülkemizdeki Grafite Oluşumları ve Sorunları". *İçinde Maden Jeologları Derneği Etkinliği* (s. 2).
- Tufan, B., Batar, T. 2015. "Improvement Of Oysu Graphite Ore Flotation Parameters". *Journal of Institute of Science*, 19(3), 17–25.
- van der Meer, F. D., van der Werff, H. M. A., van Ruitenbeek, F. J. A., Hecker, C. A., Bakker, W. H., Noomen, M. F., ... Woldai, T. 2012, Şubat 1. "Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier B.V.
- van der Werff, H., van der Meer, F. 2015. "Sentinel-2 for mapping iron absorption feature parameters". *Remote Sensing*, 7(10), 12635–12653.
- Zabcı, C. 2020. "Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI uydu görüntülerinin karşılaştırmalı jeoloji uygulaması: Örnek çalışma alanı olarak Doğu Anadolu Fayı boyunca Palu – Hazar Gölü bölgesi (Elazığ, Türkiye)". *Geomatik*, 6(3), 238–246.



İnce Film Hidrasyon ve Mikrofluidizasyon Yöntemleri Kullanılarak Polifenollerin Yüksek Verimle Nanokapsüllere Yüklenmesi

Mine Gültekin-Özguven^{1*}, Kadriye Nur Kasapoğlu², Ceren Güngör³, Esra Nur Ertürk⁴, Beraat Özçelik^{5,6}

^{1*} İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2073-8075), gultekinmi@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6070-4948), kasapogluk@itu.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9572-0666), gungorceren5@gmail.com

⁴ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0558-580), erturkkesraa@gmail.com

⁵ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1810-8154), ozcelik@itu.edu.tr

⁶ BIOACTIVE Research & Innovation Food Manufac. Indust. Trade Ltd., Teknokent ARI-3, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1810-8154), ozcelik@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.946290)

ATIF/REFERENCE: Gültekin-Özguven, M., Kasapoğlu, K. N., Güngör, C., Ertürk, E. N. & Özçelik, B. (2021). İnce Film Hidrasyon ve Mikrofluidizasyon Yöntemleri Kullanılarak Polifenollerin Yüksek Verimle Nanokapsüllere Yüklenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 758-762.

Öz

Bu çalışmada, fenolikçe zengin siyah kuşburnu meyvesi ekstraktı ince film hidrasyon ve mikrofluidizasyon yöntemleri birlikte kullanılarak nano boyuttaki lipozomlara yüksek verimle yüklenmiştir. Hazırlanan nanolipozomların stabilitesinin artırılması amacıyla negatif elektrik yüklü olan nanolipozomlar elektrostatik depozisyon tekniği ile pozitif yüklü bir biyopolimer olan kitosan ile kaplanmıştır. Bunun için farklı konsantrasyonlarda (%0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5) çalışılarak optimum kaplama için gerekli kitosan konsantrasyonu araştırılmıştır. Bu amaçla, hazırlanan nanolipozom kapsülleri ortalama partikül boyutu ve zeta potansiyeli ölçümleri ile karakterize edilmiştir. Enkapsülasyon veriminin belirlenmesi için toplam fenolik madde içerikleri (TPC) -Folin Ciocalteu yöntemi ve antioksidan kapasiteleri (CUPRAC ve DPPH yöntemleri) analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan %0.1 kitosan konsantrasyonu hariç (çökme gözlemlendi) diğer kitosan konsantrasyonlarında (%0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5) kaplama başarılı olmuştur. En yüksek enkapsülasyon verimine %0.3 kitosan konsantrasyonu ile kaplanan nanolipozomlarda ulaşılmıştır. Buna göre, enkapsülasyon verimi TPC'ye göre %92, CUPRAC'a göre %87, DPPH'e göre %83 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, ince film hidrasyon ve mikrofluidizasyon yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla yüksek enkapsülasyon verimli nanolipozom üretiminin mümkün olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnce Film Hidrasyon, Mikrofluidizasyon, Nanolipozom, Polifenol, Enkapsülasyon Verimi

Loading Polyphenols into Nanocapsules with High Encapsulation Efficiency Using Thin Film Hydration and Microfluidization

Abstract

In this study, phenolic-rich black rosehip fruit extract was loaded into nano-sized liposomes with high efficiency by using thin-film hydration and microfluidization methods together. In order to increase the stability of the prepared nanoliposomes, negatively charged nanoliposomes were coated with chitosan, a positively charged biopolymer, by electrostatic deposition technique. For this, the chitosan concentration required for optimum coating was investigated by working at different concentrations (0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% and 0.5%). For this purpose, the prepared nanoliposome capsules were characterized by mean particle size and zeta potential measurements. To determine the encapsulation efficiency, total phenolic content (TPC) by Folin Ciocalteu method and antioxidant capacity (CUPRAC and DPPH methods) analyzes were performed. Coating was successful at other chitosan concentrations (0.2%, 0.3%, 0.4% and 0.5%), except for the 0.1% chitosan concentration (aggregation was observed). The highest encapsulation efficiency was achieved in nanoliposomes coated with 0.3% chitosan concentration. Accordingly, the encapsulation efficiency was determined as 92%, 87% and 83% in terms of TPC, CUPRAC and DPPH assays, respectively. In conclusion, it has been understood that it is possible to produce nanoliposomes with high encapsulation efficiency by combining the thin film hydration and microfluidization methods together.

Keywords: Thin Film Hydration, Microfluidization, Nanoliposome, Polyphenol, Encapsulation Efficiency

* Sorumlu Yazar: gultekinmi@itu.edu.tr

1. Giriş

Doğal antioksidanların gıda sistemlerinde kullanılmasına yönelik pek çok kısıtlama mevcuttur. Polifenollerin düşük çözünürlükleri ile pH, yüksek sıcaklık, oksijen, ve ışık gibi çevresel faktörlere karşı dayanımlarının zayıf olması, bu maddelerin gıda proseslerinden kaynaklanan kayıplarının fazla olmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde, polifenollerin sindirim koşullarındaki stabiliteyi de düşüktür (Fang & Bhandari, 2010). Enkapsülasyon yöntemleri, bu bileşiklerin koruyucu küresel bir matris/ çeper içerisine yerleştirilmek suretiyle muhafaza edilerek yukarıda bahsedilen sorunların üstesinden gelmek için çok güçlü bir araçtır (Dordevic ve diğ. 2015). Oluşan kapsüller kaplanan biyoaktif bileşen ve duvar materyali arasında fiziksel bir bariyer işlevi göstererek nem, pH ve oksitlenme gibi dış zararlara karşı koruma sağlar (de Vos ve diğ., 2010).

Lipozomlar, kolesterol ve toksik olmayan doğal fosfolipidlerden oluşturulabilen küresel şekilli küçük yapay veziküllerdir. Lipozomlar, hem hidrofobik hem de hidrofilik karakterde olmaları nedeniyle pek çok bioaktif bileşen için uygun taşıyıcı sistemlerdir (Akbarzadeh ve diğ., 2013). Biyo-uyumlu ve biyo-bozunur olmaları, toksisite göstermemeleri ve kapsüllenmiş biyoaktif maddeyi kontrollü salma gibi özellikleri sayesinde son yıllarda tarım, gıda ve ilaç sanayiinde kullanım alanlarını arttırmıştır (Laye ve diğ., 2008; Gibis ve diğ., 2012). Ayrıca, doğada var olan ingrediyenlerden elde edilmesi gıdalarda kullanımında herhangi bir yasal düzenlemeye gerek bırakmamaktadır (Taylor ve diğ., 2005). Gıda uygulamalarında soya, ayçiçeği, yumurta lesitini veya birden fazla farklı fosfolipidler kullanılarak lipozomlar hazırlanabilir. Lesitinler uzun yıllardır çeşitli gıda formülasyonlarında emülgatör olarak kullanılmaktadır ve Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi'ne (FDA) göre Genellikle Emniyetli Kabul Edilebilen (GRAS) kategorisinde yer almaktadırlar (Kırtıl & Öztıp, 2014).

Lipozomlar kapsül içerisine aldıkları biyoaktif bileşenlerinin ortamla etkileşimini ortadan kaldırarak stabiliteyi artırıp daha uzun süre aktivitelerinin korunmasına yardımcı olmaktadır (Chun ve diğ., 2013). Ancak, lipozomların kırılabilir bir yapıya sahip olmaları nedeniyle içlerindeki enkapsüle edilmiş olan maddenin sızma olasılığı bulunmaktadır (Laye ve diğ., 2008). Diğer taraftan, lipozomlar kıvrımlı olmadıkları zaman en düşük enerji seviyesindedirler. Bu nedenle küçük lipozomlar kıvrımlarını azaltmak için bir araya gelip birleşme eğilimindedirler. Bunun sonucunda da lipozomların partikül boyutlarının zamanla artması nedeniyle zamanla lipozomlar çökelti oluşturup dispersiyondan ayrılmaktadır. Yani lipozomlar termodinamik olarak stabil olmayan yapılardır (Gibis ve diğ., 2012). Diğer taraftan, fosfolipidlerin okside olması da lipozom stabilitesini engelleyebilmektedir. Lipozom stabilitesini artırmak için kullanılan en yaygın yöntem lipozomların kitosan, aljinat ve pektin gibi elektriksel olarak karşıt yüklü başka bir biyopolimer ile kaplanmasıdır (Chun ve diğ., 2013).

Etanol enjeksiyon, ince film hidrasyonu, ters faz evaporasyonu gibi konvansiyonel yöntemlerle yüksek enkapsülasyon verimli lipozomlar elde edilebilmektedir. Lipozomların üretiminde en eski ve yaygın kullanılan yöntem Bangham metodu olarak da bilinen ince film hidrasyonu olup, temelde fosfolipidlerin organik çözücüde çözülerek, sonrasında çözücü ayrıştırılıp kalan ince film tabakasının hidratlanmak suretiyle kendiliğinden lipozom veziküllerinin oluşturulmasına dayanır (Esposito ve diğ., 2021; Trucillo ve diğ., 2020).

Elde edilen konvansiyonel lipozomların boyutunu küçültmek için sonikasyon, mikrofluidizasyon, yüksek basınçlı

ekstrüzyon gibi tekniklerden yararlanmak mümkündür. Aslında lipozomlar ve nanolipozomlar fiziksel ve termodinamik olarak benzer olsa da nanolipozomların konvansiyonel lipozomlara göre daha küçük boyutta olmaları ve daha yüksek yüzey/hacim oranı nanolipozomların biyoyararlılığını arttırmaktadır. Mikrofluidizasyon tekniği, lipozomların boyutlarını istenen şekilde küçültmesinin yanı sıra toksik solventler kullanmadan büyük ölçekli lipozom üretimine uygundur (Zou ve diğ., 2014). Burada vurgulanan noktalardan yola çıkarak bu çalışmanın amacı siyah kuşburnu meyvesinden elde edilen polifenollerce zengin etanol ekstraktının ince film hidrasyon yöntemini takiben mikrofluidizasyon tekniği kullanılarak hazırlanan nanolipozomlara yüksek enkapsülasyon verimini hedefleyerek enkapsüle edilmesi ve bu nanolipozomların kitosanla kaplanarak stabilitesinin artırılmasıdır. Bu amaçla, elde edilen nanolipozom kapsülleri ortalama partikül boyutu ve zeta potansiyeli analizleri yapılarak karakterize edilip optimum enkapsülasyon koşulları tespit edilmiştir. Enkapsülasyon verimini hesaplamak için ise toplam fenolik madde içeriği (Folin-Ciocalteu yöntemi) ve antioksidan kapasite (CUPRAC ve DPPH yöntemleri) analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, MO) satın alınmıştır. Siyah kuşburnu meyvesi ise Bayburt yöresinden temin edilmiştir.

2.2. Metot

2.1.1. Polifenol Ekstraktının Hazırlanması

Sıvı azot kullanılarak dondurulan siyah kuşburnu meyveleri elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirildikten sonra etanol kullanılarak ekstrakte edilmiştir. Bunun için, 1 g öğütülmüş meyvenin üzerine 10 mL etanol eklenerek ultrasonikatörle 2 dakika süreyle muamele edilmiştir. Daha sonra, karışım 7168 g'de 5°C'de 10 dakika süreyle santrifüj edilerek etanol fazı katı kısımdan ayrılmıştır. İşlem üç defa tekrarlanmış olup elde edilen etanol fazları birleştirilmiştir. Son olarak, etanol 40°C'de vakum altında döner buharlaştırıcı (Büchi) yardımıyla uzaklaştırılmıştır.

2.1.2. Polifenol Ekstraktının İnce Film Hidrasyon Yöntemi ve Mikrofluidizasyon Kullanılarak Nanolipozomal Enkapsülasyonu

Lipozomlar ince film hidrasyonu yöntemine göre Yang ve diğ. (2011) tarafından tarif edildiği gibi hazırlanmıştır. Buna göre, 0.1g ekstrakt, 800 mg fosfolipit ve 200 mg kolesterol tartılıp üzerine 10 ml kloroform eklenip iyice karıştırıldıktan sonra kloroform kısmı 50°C'de döner buharlaştırıcıda uçurulmuştur. Oluşan ince filmin üstüne 400 mg Tween 80 ve 50 ml fosfat tampon çözeltisi (pH 4.0) eklenmiştir.

Ultrasonikatör yardımıyla homojenize edildikten sonra oluşan dispersiyon mikrofluidizerden (Microfluidizer Processor M-110L, Microfluidics, Newton, ABD) 25,000 psi basınçta 5 defa geçirilerek polifenol ekstraktı içeren nanolipozomlar elde edilmiştir. Ayrıca, kontrol olarak ekstrakt içermeyen boş nanolipozomlar da benzer şekilde üretilmiştir.

2.1.3. Nanokapsüllerin Kitosanla Kaplanması

Elde edilen boş ve ekstrakt içeren nanolipozomlar negatif yüklü oldukları için pozitif yüklü kitosan polimeri ile tabaka-tabaka yöntemine göre Özgüven ve diğ. (2020)'nin tarif ettiği şekilde kaplanmıştır. Bunun için kitosan farklı konsantrasyonlarda (%0.2, %0.4, %0.6, %0.8 ve %1.0 w/v) hazırlandıktan sonra üretilen nanolipozom dispersiyonları ile

karıştırıldıktan sonra bir gece boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır.

2.1.4. Nanokapsüllerin Karakterizasyonu

Elde edilen nanokapsüllerin karakterizasyonu için zeta potansiyeli ve ortalama partikül boyutu (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Malvern, United Kingdom) ölçülmüştür.

2.1.5. Enkapsülasyon Verimi

Nanolipozomlara tutuklanan ekstraktın enkapsülasyon verimini hesaplamak için Gültekin-Özgülven ve diğ. (2016)'nın tarif ettiği şekilde jel filtrasyon yöntemi kullanılmıştır. Sephadex G50'nin fosfat tamponda oluşturduğu jelden geçirilen ekstrakt içeren nanolipozomlardan enkapsüle olmayan ekstrakt ve bunların kitosan kaplı hallerinden bağlanmamış kitosan kısımları jelde tutularak uzaklaştırılır. Daha sonra, jelden geçen nanolipozomlar ise %0.15'lik Triton X-100 çözeltisi kullanılarak parçalanır. Yapılan işlemin prensibi, lipozomu parçalayarak, lipozomların yüzeyindeki ve içindeki fenolik bileşiklerin açığa çıkarılması ilkesine dayanmaktadır.

2.1.6. Toplam Fenolik Madde Miktarı

Toplam fenolik madde miktarını belirlemek için Folin-Ciocalteu metodu kullanılmıştır (Gültekin-Özgülven ve diğ., 2016). Seyreltilmiş ekstrakt içeren nanolipozom örneklerinden 200'er µl alınarak üzerine 1.5 ml 1:10 oranında seyreltilmiş Folin-Ciocalteu reaktifi eklenmiştir. Daha sonra bu karışıma 1.2 ml %7.5'lük sodyum karbonat eklenerek karıştırılmış ve 45 dakika karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Oluşan renk spektrofotometrede 765 nm dalga boyunda okunmuştur. Boş lipozom örnekleri kontrol olarak kullanılmıştır. Sonuçlar gallik asit eşdeğeri (GAE) cinsinden mg GAE/100 ml ekstrakt olarak hesaplanmıştır.

2.1.7. Toplam Antioksidan Kapasite

Toplam antioksidan kapasite CUPRAC ve DPPH yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

2.1.7.1. CUPRAC Yöntemi

Apak ve diğ. (2004)'nin yöntemine göre ekstrakt içeren nanolipozom örneklerinden 100'er µl alınarak üzerine 1 ml Bakır (II) klorit, 1 ml Neocuproine ve 1 ml sodyum asetat çözeltileri ve 1 ml saf su ile karıştırılıp 30 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Oluşan renk 450 nm dalga boyunda spektrofotometrede okutulmuştur. Boş lipozom örnekleri kontrol olarak kullanılmıştır. Sonuçlar Trolox eşdeğeri (TE) cinsinden mg TE/100g ml ekstrakt olarak hesaplanmıştır.

2.1.7.2 DPPH Yöntemi

Ekstrakt içeren nanolipozom örneklerinden 100'er µl alınıp üzerine 2 ml DPPH içeren metanol çözeltisi eklenerek vortekslle karıştırılması sağlanmıştır. 30 dakika karanlık bir ortamda bekletildikten sonra sonucu oluşan renk spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda okutulmuştur (Altın ve diğ., 2018). Boş lipozom örnekleri kontrol olarak kullanılmıştır. Sonuçlar Trolox eşdeğeri (TE) cinsinden mg TE/100 ml ekstrakt olarak hesaplanmıştır.

2.1.8. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler IBM SPSS software (21.0, Chicago, IL, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler en az 3 kere tekrarlanmıştır. Sonuçlar ortalama değerler ve standart sapma değerleri ile birlikte verilmiştir. Farklılıklar Tukey testi ile P değeri <0.05'e göre değerlendirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Nanokapsüllerin Karakterizasyonu

Tablo 1'de görüldüğü gibi nanolipozomların karakterizasyonu için ortalama partikül boyutu ve elektriksel yükü belirten zeta potansiyeli ölçümlerinden yararlanılmıştır.

Nano boyutuna küçültülen boş lipozomlar elektriksel olarak negatif (-10.9) yüklüdür. Polifenol ekstraktı yüklenen nanolipozomların zeta potansiyelinin polifenol ekstraktının da negatif elektrik yüklü olmasından dolayı arttığı (-14.7) görülmektedir. Diğer taraftan, boş nanolipozomların partikül boyutunun da 85.6 nm'den içine ekstrakt yüklendiğinde 93.9 nm'ye büyüdüğü belirlenmiştir.

Elektrostatik etkileşimler sayesinde nanolipozomlar kitosan polimeriyle kaplanmıştır. Bu nedenle, kitosanla kaplanan ekstrakt içeren ve içermeyen nanolipozomların zeta potansiyelinin negatiften pozitifte geçmesi beklenmektedir. Nitekim boş nanolipozom için -10.90 ve ekstrakt içeren nanolipozom için -14.70 mV olan zeta potansiyeli kitosanla kaplanmasının sonucunda sırasıyla en fazla 18.93 (%0.4 konsantrasyonda) ve 15.76 (%0.5 konsantrasyonda) mV'a kadar değişmiştir. Bulgular literatürle (Akgün ve diğ., 2020; Gibis ve diğ., 2012) uyumludur. Ayrıca, nanolipozomların kitosanla kaplanmasının sonucunda partikül boyutunda da artış olmuştur. Boş nanolipozomların partikül boyutu 85.6 nm'den en fazla 171.2 nm'ye kadar artmıştır. Benzer şekilde, ekstrakt içeren nanolipozomlar da 93.9 nm'den en fazla 161.3 nm'ye kadar artış göstermiştir. Buradan yola çıkarak, %0.2'lik kitosan çözeltisi ile kaplanan ekstrakt içeren ve içermeyen nanolipozomlar hariç diğer tüm kitosan konsantrasyonlarında (%0.2, %0.6, %0.8 ve %1.0) kitosanla kaplanmanın başarılı olduğu anlaşılmıştır. Söz konusu konsantrasyonlar kullanılarak sırasıyla %0.1, %0.3, %0.4 ve %0.5 konsantrasyonlarında kitosanla kaplanmış nanolipozom kapsülleri elde edilmiş olur. %0.1 konsantrasyonda kitosanla kaplama denemesinde çökme gözlenmiştir. % 0.2'den düşük kitosan konsantrasyonunun çökelti oluşumuna neden olduğu, lipozomların kaplanmasında uygun olmadığı başka çalışmalarda da bildirilmiştir (Li ve diğ., 2015). Elde edilen kitosanla kaplanmış ekstrakt içeren ve içermeyen nanolipozomlardan yüksek zeta potansiyeline sahip ve düşük partikül boyutunda olanların en yüksek stabiliteye sahip olduğu söylenebilmektedir.

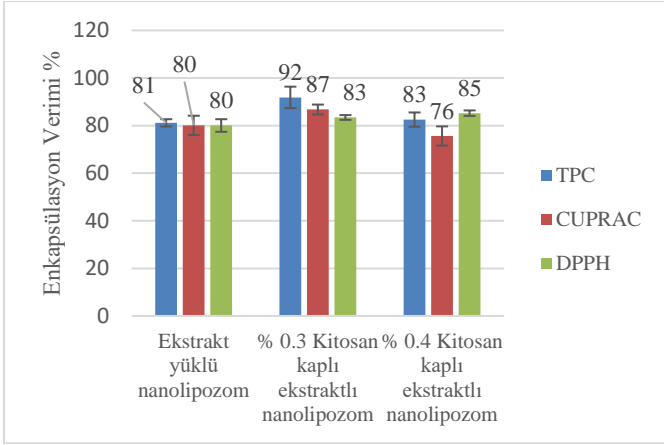
3.2. Enkapsülasyon Verimi

Enkapsülasyon veriminin hesaplanmasında toplam fenolik madde ile toplam antioksidan kapasite (CUPRAC ve DPPH) analizleri kullanılmıştır. Şekil 1'de verildiği gibi ekstrakt içeren nanolipozomların enkapsülasyon verimi TPC, CUPRAC ve DPPH sonuçlarına göre sırasıyla %81, %80 ve %80 olarak bulunmuştur. Bu enkapsülasyon verimi oldukça yüksektir ve literatür bilgileriyle de uyumaktadır (Akgün ve diğ., 2020; Gibis ve diğ., 2012; Gültekin-Özgülven ve diğ., 2016).

Polifenollerin lipozomlara tutuklanmalarında kullanılan lipozom hazırlama yöntemine göre farklı enkapsülasyon verimleri elde edilmektedir. Trucillo ve diğ. (2018) zeytin fenoliklerinin enkapsülasyonunda süperkritik destekli prostenen yararlanarak en fazla %58 enkapsülasyon verimine ulaşırken Paini ve diğ. (2015) sonikasyon işlemi sayesinde apigenini %98 verimle enkapsüle edebilmiştir ve sonikasyon uygulamasının enkapsülasyon verimini artırdığını rapor etmiştir.

%0.3 kitosanla kaplama yapıldıktan sonra nanolipozomların enkapsülasyon verimi TPC'ye göre %92, CUPRAC'a göre %87, DPPH'e göre %83 olarak belirlenmiştir. Bunu TPC'ye göre %83, CUPRAC'a göre %76, DPPH'e göre %85 enkapsülasyon verimi ile %0.4'lük kitosan kaplı ekstrakt içeren nanolipozomların takip etmektedir. Görüldüğü gibi ince film hidrasyon yöntemini takiben mikrofluizasyon tekniği kullanılarak hazırlanan nanolipozom kapsüllerin enkapsülasyon verimi oldukça yüksektir. İnce film hidrasyon yöntemi ile sonikasyon tekniğinin kullanılarak kitosan kaplı kuersetin

nanolipozomlarının enkapsülasyon verimi % 71.14 olarak rapor edilmiştir (Hao ve diğ., 2017).



Şekil 1. Ekstrakt Yüklü Nanolipozom, %0.3 Kitosan Kaplı Ekstraktlı Nanolipozom ve %0.4 Kitosan Kaplı Ekstraktlı Nanolipozomun % Enkapsülasyon Verimleri.

Diğer taraftan, enkapsülasyon veriminin hesaplanmasında yararlanılan spektrofotometrik yöntemlerden ziyade HPLC gibi daha hassas sonuç veren cihazlar kullanılarak daha gerçekçi olarak hesaplanması da mümkün olacaktır (Paini ve diğ., 2015).

İstatistiksel olarak %0.3 ve %0.4 kitosan konsantrasyonu ile nanolipozomların kaplanmasında partikül boyutu ve zeta potansiyeli açısından fark görülmediğinden ($p>0.05$) enkapsülasyon verimi daha yüksek olduğu için %0.3'lük kitosan konsantrasyonu ile kaplanan nanolipozomların seçilmesinin daha uygun olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuç

İnce film hidrasyon yöntemini izleyen mikroflüizidasyon sonucu elde edilen ve kitosanla kaplamanın (%0.2, %0.3, %0.4,

%0.5) başarılı olduğu ekstrakt içeren nanolipozomların enkapsülasyon verimleri dikkate alındığında %0.3'lük kitosan çözeltisi ile kaplanan nanolipozomların toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite (CUPRAC ve DPPH) açısından değerlendirildiğinde en yüksek enkapsülasyon verimine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, %0.3'lük kitosan konsantrasyonu kullanılarak kaplanan nanolipozomların partikül boyutu ve zeta potansiyeli açısından daha stabil oldukları anlaşılmıştır. Sonuç olarak ince film hidrasyon ve mikroflüizidasyon yöntemlerinin birlikte kullanılarak yüksek enkapsülasyon verimine sahip nanolipozom elde edilebileceği, elde edilen nanolipozomların kaplanmasında kullanılan kitosan polimeri ile geniş bir konsantrasyon aralığında (%0.2-0.5) kaplama yapmanın mümkün olabileceği anlaşılmıştır. Diğer taraftan, ince film hidrasyon yönteminde etanol gibi çözümlerden yararlanıldığı için bu yöntemin hidrofilitiklerin yanı sıra hidrofobik ve lipofilik karakterdeki fenolik bileşiklerin enkapsülasyonunda da kullanılması söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle, ince film hidrasyon yöntemi ve mikroflüizidasyon tekniğinin birlikte kullanılarak özellikle suda çözünürlüğü az olan hidrofobik veya lipofilik karakterdeki fenolik bileşiklerde denenmesi, elde edilen nanokapsüllerin özellikle biyoyararlılık ve stabiliteyi üzerine çalışmaların gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Böylece suda çözünürlüğü az olan ancak yüksek antioksidan kapasitesi olan fenolikleri içeren kapsüllerin ilerde gıda, besin takviyesi, kozmetik ve ilaçta kullanımlarının ilk çalışmaları gerçekleştirilmiş olacaktır.

5. Teşekkür

Yazarlar İstanbul Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Gıda Mühendisi Evren Demircan'a desteklerinden dolayı teşekkür eder.

Tablo 1. Nanokapsüllerin Karakterizasyonu.

Nanokapsüller	Ortalama Partikül Boyutu (nm)	Zeta Potansiyeli (mV)
Boş nanolipozom	85.6±1.33 ^f	-10.90±1.27 ^a
% 0.1 Kitosan kaplı boş nanolipozom	Çöktü	-
% 0.2 Kitosan kaplı boş nanolipozom	180.9 ± 7.53 ^a	13.96 ± 1.11 ^d
% 0.3 Kitosan kaplı boş nanolipozom	157.4 ± 1.38 ^b	17.03 ± 2.77 ^e
% 0.4 Kitosan kaplı boş nanolipozom	171.2 ± 2.62 ^a	18.93 ± 0.80 ^e
% 0.5 Kitosan kaplı boş nanolipozom	156.2 ± 4.83 ^c	17.56 ± 2.00 ^e
Ekstraktlı nanolipozom	93.9±2.76 ^e	-14.70±0.58 ^b
% 0.1 Kitosan kaplı ekstraktlı nanolipozom	Çöktü	-
% 0.2 Kitosan kaplı ekstraktlı nanolipozom	139.4 ± 1.13 ^d	7.29 ± 0.36 ^c
% 0.3 Kitosan kaplı ekstraktlı nanolipozom	153.5 ± 2.28 ^c	11.44 ± 3.32 ^d
% 0.4 Kitosan kaplı ekstraktlı nanolipozom	150.7 ± 1.47 ^c	13.96 ± 1.72 ^d
% 0.5 Kitosan kaplı ekstraktlı nanolipozom	161.3 ± 2.17 ^b	15.76 ± 1.26 ^d

Her kolondaki harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları $p<0.05$ düzeyindeki farklılıkları göstermektedir.

Kaynakça

Akbarzadeh, A., Rezaei-Sadabady, R., Davaran, S., Joo, S. W., Zarghami, N., Hanifehpour, Y., ... & Nejati-Koshki, K. (2013). Liposome: classification, preparation, and applications. *Nanoscale Research Letters*, 8(1), 1-9.

Akgün, D., Gültekin-Özgülven, M., Yüce-tepe, A., Altın, G., Gibis, M., Weiss, J., & Özçelik, B. (2020). Stirred-type yoghurt incorporated with sour cherry extract in chitosan-coated liposomes. *Food Hydrocolloids*, 101, 105532.

- Altin, G., Gültekin-Özgülven, M., & Ozcelik, B. (2018). Chitosan coated liposome dispersions loaded with cacao hull waste extract: Effect of spray drying on physico-chemical stability and in vitro bioaccessibility. *Journal of Food Engineering*, 223, 91-98.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970-7981.
- Chun, J.-Y., Choi, M.-J., Min, S.-G., & Weiss, J. (2013). Formation and stability of multiple-layered liposomes by layer-by-layer electrostatic deposition of biopolymers. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 249-257.
- de Vos, P., Faas, M. M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2010). Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International dairy journal*, 20(4), 292-302.
- Đorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., ... & Nedović, V. (2015). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, 7(4), 452-490.
- Esposito, B. S., Jauregi, P., Tapia-Blácido, D. R., & Martelli-Tosi, M. (2020). Liposomes vs. chitosomes: Encapsulating food bioactives. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 40-48.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10), 510-523.
- Gibis, M., Vogt, E., & Weiss, J. (2012). Encapsulation of polyphenolic grape seed extract in polymer-coated liposomes. *Food Funct.*, 3(3), 246-254.
- Gültekin-Özgülven, M., Karadağ, A., Duman, Ş., Özkal, B., & Özçelik, B. (2016). Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract encapsulated in chitosan-coated liposomes and bioaccessibility studies. *Food Chemistry*, 201, 205-212.
- Hao, J., Guo, B., Yu, S., Zhang, W., Zhang, D., Wang, J., & Wang, Y. (2017). Encapsulation of the flavonoid quercetin with chitosan-coated nano-liposomes. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 37-44.
- Kırtıl, E., & Öztıp, M. H. (2014). Enkapsülasyon maddesi olarak lipozom ve gıdalarda kullanımı: Yapısı, karakterizasyonu, üretimi ve stabilitesi. *Akademik Gıda*, 12(4), 41-57.
- Laye, C., McClements, D. J., & Weiss, J. (2008). Formation of Biopolymer-Coated Liposomes by Electrostatic Deposition of Chitosan. *Journal of Food Science*, 73(5), N7-N15.
- Li, Z., Paulson, A. T., & Gill, T. A. (2015). Encapsulation of bioactive salmon protein hydrolysates with chitosan-coated liposomes. *Journal of Functional Foods*, 19, 733-743.
- Özgülven, M., Beyde, B., & Özçelik, B. (2020). Atıkların Değerlendirmesi: Fındık (*Corylus avellana* L.) ve Antep Fıstığı (*Pistacia vera* L.) İç Zarlarından Elde Edilen Fenolikçe Zengin Ekstraktlara Lipozomal Taşıma Sistemlerinin Uygulanabilirliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 241-246.
- Paini, M., Daly, S. R., Aliakbarian, B., Fathi, A., Tehrani, E. A., Perego, P., ... & Valtchev, P. (2015). An efficient liposome based method for antioxidants encapsulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 136, 1067-1072.
- Taylor, T. M., Weiss, J., Davidson, P. M., & Bruce, B. D. (2005). Liposomal nanocapsules in food science and agriculture. *Critical reviews in food science and nutrition*, 45(7-8), 587-605.
- Trucillo, P., Campardelli, R., Aliakbarian, B., Perego, P., & Reverchon, E. (2018). Supercritical assisted process for the encapsulation of olive pomace extract into liposomes. *The Journal of Supercritical Fluids*, 135, 152-159.
- Trucillo, P., Campardelli, R., & Reverchon, E. (2020). Liposomes: From bangham to supercritical fluids. *Processes*, 8(9), 1022.
- Yang, J., Ni, B., Liu, J., Zhu, L., & Zhou, W. (2011). Application of liposome-encapsulated hydroxycamptothecin in the prevention of epidural scar formation in New Zealand white rabbits. *The Spine Journal*, 11(3), 218-223.
- Zou, L. Q., Liu, W., Liu, W. L., Liang, R. H., Li, T., Liu, C. M., ... & Liu, Z. (2014). Characterization and bioavailability of tea polyphenol nanoliposome prepared by combining an ethanol injection method with dynamic high-pressure microfluidization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(4), 934-941.



Tromboliz Kateter Üretim Sürecindeki Risklerin KEMIRA-M Yöntemi ile Önceliklendirilmesi

Ayşe Ceren Tutuş^{1*}, Gülin Feryal Can², Dilek Çökeliiler Serdaroğlu³

^{1*} Başkent University, Institute of Science, Department of Quality Engineering, Ankara, Turkey, (0000-0002-8675-8212), tutusceren@gmail.com

² Başkent University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID 0000-0002-7275-2012), gfcan@baskent.edu.tr

³ Başkent University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8645-9047), cokeliiler@baskent.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 17 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.891599)

ATIF/REFERENCE: Tutuş, A. C., Can, G. F. & Çökeliiler Serdaroğlu, D. (2021). Tromboliz Kateter Üretim Sürecindeki Risklerin KEMIRA-M Yöntemi ile Önceliklendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 763-773.

Öz

Risk değerlendirmesi, her üretim sürecinde olduğu gibi, tıbbi cihaz üretim süreçlerinde de önem taşımaktadır. Herhangi bir tıbbi cihazın risk taşınması, geri dönüşü olmayan sonuçlar ortaya çıkarabilir. Tıbbi cihazlarda oluşan riskler, başta hastaya, cihazı kullanan operatöre ve çevreye ciddi zararlar verebilir. Bir tıbbi cihazın başarılı bir şekilde hastaya uygulanabilir hale gelmesi, oldukça zor ve karmaşık bir süreçtir. Tüm sürecin titizlikle yürütülmesi için, tıbbi cihazlarda risk yönetimi son derece önemlidir. Bu kapsamda, Uluslararası Standartlar Örgütü (International Standard Organization-ISO) tarafından, tıbbi cihazlara yönelik risk yönetimi için ISO 14971 standardı geliştirilmiştir. Ancak, standartın risk değerlendirmesi amacıyla kullanımını önerdiği yaklaşımın, geliştirilmesi gereken yönleri bulunmaktadır. Standart tarafından önerilen risk değerlendirme yaklaşımı, tıbbi cihazlarda ortaya çıkabilecek riskleri sadece, şiddet ve olasılık kriterlerine göre, nitel bir yapıda olan risk matrisine dayanarak değerlendirmektedir. Oysaki farklı nitel ve nicel kriterlerin risk analizinde dikkate alınması, yapılan çalışmanın hassasiyetini arttıracaktır. Sağlık sektöründe, tedavi amaçlı kullanılan birçok tıbbi cihaz bulunmakla birlikte, bu cihazlar arasında kateterler, tıpta birçok alanda, yaygın bir şekilde kullanılan ekipmanlardır. Kateterlerin kullanım amaçları ve alanlarına göre farklı çeşitleri bulunmaktadır ancak tromboliz kateterleri, bunlar arasında hastalara en çok uygulanan kateter türünü oluşturmaktadır. Buna göre çalışmada, tromboliz kateter üretim süreçlerinde ortaya çıkabilecek risk türleri, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden, yeni nesil bir yöntem olan, Modified Kemeny Median Indicator Ranks Accordance (KEMIRA-M) kullanılarak değerlendirilmiştir. KEMIRA-M yönteminde, yapısal olarak benzerlik gösteren risk kriterleri, ayrı gruplar altında toplanabilmekte, kriter sayısına bağlı olmaksızın değerlendirme yapılabilmekte, nitel ve nicel kriter değerleri bir arada kullanılabilir. Bununla birlikte, uzmanların kriter öncelikleri de çözüm sürecine yansıtılabilmektedir. KEMIRA-M'nin sağladığı tüm bu avantajların, tıbbi cihaz risk değerlendirme sürecine kazandırılması hem uygulayıcılar açısından hem de literatür açısından katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Tromboliz Kateter, Tıbbi Cihaz, Risk Analizi, Çok Kriterli Karar Verme, KEMIRA-M.

Prioritization of risks in thrombolysis catheter production process by KEMIRA-M method

Abstract

Risk assessment is important for medical device manufacturing processes as well as for every production process. Any risk of medical device may result in irreversible consequences. Risks occurring in medical devices can cause serious damage to the patient, the operator using the device and the environment. Successful application of a medical device to a patient is a very difficult and complex process. Risk management in medical devices is extremely important for the entire process to be carried out meticulously. In this context, ISO 14971 standard has been developed for risk management for medical devices by the International Standard Organization (ISO). However, it has been determined that the approach suggested by the standard for risk assessment has some aspects that need to be improved. The risk assessment approach proposed by the standard evaluates the risks that may arise in medical devices based on a qualitative risk matrix considering only severity and probability criteria. However, considering different qualitative and quantitative criteria in risk analysis will increase the sensitivity of the evaluation. There are many medical devices used for treatment in the health sector. Among these devices, catheters are widely used equipment in many fields of medicine. Although there are different types of catheters according to their usage purposes and areas, thrombolysis catheters constitute the most widely used one for patients. Accordingly in this study, the types of risks that may arise during thrombolysis catheter production processes were evaluated using Modified Kemeny Median Indicator Ranks Accordance (KEMIRA-M) which is a new generation method among MCDM methods. In

* Sorumlu Yazar: tutusceren@gmail.com

the KEMIRA-M, risk criteria that are structurally similar can be classified under separate groups, evaluation can be made regardless of the number of criteria, and qualitative and quantitative criteria values can be used together. In addition, the criteria priorities of the experts can also be reflected in the solution process. Bringing all these advantages of KEMIRA-M to the medical device risk assessment will contribute to both the practitioners and the literature.

Keywords: Thrombolysis Catheter, Medical Device, Risk Analysis, Multi Criteria Decision Making, KEMIRA-M.

1. Giriş

Risk değerlendirmesi, ürün veya hizmet üretim süreçlerinde, mevcut ve ortaya çıkabilecek tehlikelerin ve bu tehlikelere bağlı risklerin analiz edilmesidir. Sağlık sektörü açısından bakıldığında zaman, özellikle insanların tedavisinde kullanılan tıbbi cihazlarda periyodik risk değerlendirmesinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Herhangi bir tıbbi cihazın risk taşıması, geri dönüşü olmayan sonuçlar ortaya çıkarabilir. Bu sebeple, risk değerlendirme çalışmaları incelik ve titizlikle gerçekleştirilmelidir. Tıbbi cihazlarda hatalı üretim, başta hasta olmak üzere, cihazı kullanan operatöre ve çevreye ciddi zararlar verebilir. Tıbbi cihazlar, doğrudan hastanın sağlığı ve hayatını etkileyen, dolaylı olarak ta, kullanıcı ve çevreye etkisi olan, özel olarak tasarlanmış ürünlerdir. Bir tıbbi cihazın başarılı şekilde hastaya uygulanabilir hale gelmesi, oldukça zor ve karmaşık bir süreç içerir. Tüm bu sürecin titizlik ile yürütülmesi için, tıbbi cihazlarda risk değerlendirmesi ve yönetimi son derece önemlidir. Uluslararası Standartlar Örgütü (International Standard Organization-ISO) tarafından, tıbbi cihazlara yönelik risk değerlendirmesi ve yönetimi için, ISO 14971 standardı geliştirilmiştir. Bu standart ülkemizde de, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından “TS EN ISO 14971 Tıbbi cihazlar-Tıbbi Cihazlara Risk Yönetiminin Uygulanması” adı altında Türkçe’ye çevrilerek uygulanmaktadır. Geliştirilen bu uluslararası standart, özel olarak tıbbi cihaz ve ürünlerinin üreticilerine yönelik, risk yönetimi temelini kurulumu için tasarlanmıştır. Standart, risklerin yönetilmesinde temel olarak hastayı alır. Bununla beraber, tıbbi cihazı kullanan operatörleri, çevresinde bulunan diğer insanları ve ekipmanları ve çevreye yönelik riskleri de dahil ederek; kapsamlı bir analiz imkanı sunmaktadır. Bu uluslararası standartın gereklilikleri, bir tıbbi cihazın yaşam döngüsünün tüm aşamalarına uygulanır. Bir tıbbi cihaz için yaşam döngüsü; tasarım, geliştirme, üretim, depolama, dağıtım, kurulum, teknik servis ve ürün bertarafına kadar olan tüm süreçleri kapsamaktadır (TS EN ISO 17971, 2020).

Tıbbi cihaz risk değerlendirmesinde, tıbbi cihazın kullanım amacı, kullanım yeri, uygulama işlemini gerçekleştiren operatör veya operatörler ve ürün içeriği dikkate alınır. Tıbbi cihazın kendisinin, uygulamasını gerçekleştirenler ve uygulamanın gerçekleştirebileceği ortama etkilerine dair, tüm ürün güvenliği ve performansına yönelik risklerin belirlenmesi ve bu risklerin en alt seviyeye düşürülebilmesi için uygulanacak olan risk tedbirlerini belirlemek amaçlanır. Standarta göre risk değerlendirmesinde, iki kriter dikkate alınır. Bunlardan birincisi, risk durumunun meydana gelme olasılığı, ikincisi ise, risk durumunun ortaya çıkarabileceği zararın şiddetidir. Bu uluslararası standart, tıbbi cihaz üreticisi açısından, ürünle ilgili risk etkilerinin tanımlanması, risklerin tahmin edilmesi ve olası tehlike durumu ile ilgili risklerin değerlendirilmesi, risklerin kontrol altında tutulması ve bu kontrolün etkin bir şekilde gerçekleştirilmesinin izlenmesi proseslerini tanımlar (TS EN ISO 14971,2020)

Tıbbi cihazlar için gerçekleştirilen risk değerlendirmesi, risklerin veya oluşma ihtimali olan diğer olumsuz olayların bilinmesi, önceden tespit edilmesi, insanlar üzerinde oluşabilecek en küçük zararın en alt düzeye çekilebilmesi için yapılan bir çalışmadır. Bu sebeple, başta hasta sağlığı, kullanıcı sağlığı ve ürün kalitesi için kaliteyi korumak önemli bir garantidir. Bununla beraber, potansiyel faktörlerin etkisinden dolayı, risk derecesini (büyüklüğünü) niteliksel olarak ölçmek yeterli değildir. Risk büyüklüğünün nicel olarak değerlendirilmesi de önem taşımaktadır. Ayrıca, olasılık ve şiddet dışında başka risk kriterlerinin de tıbbi cihaz üretim sürecinde ortaya çıkabilecek risk türleri üzerinde etkin olabileceği de değerlendirilmektedir.

Tıbbi cihazlar açısından bakıldığında kateterler, tedavi amaçlı, en fazla kullanılan cihazlardandır. Kateterler, tıpta birçok alanda vücut boşluğuna, damara ve kanallara cerrahi aletler ile birlikte uygulanan, sıvıların enjeksiyonu veya dışarı çıkarılmasında kullanılan, biyoyumlu malzemelerden yapılmış, vücut içinde kullanımı nispeten kısa süreli olan, ince uzun yapıya sahip tüp şeklindeki malzemedir. Kullanım alanı ve amacına göre farklı yapılarda ve şekillerde olabilmektedir. Yapısal olarak kateterler; farklı boy, çap, uç yapısı, kanal/lümen sayısı, yumuşak, sert, hidrofilik / hidrofobik vb. yapıya sahip olabilir. Tromboliz kateter, vasküler yapıda bulunan trombüsü çözmek için özel bir sıvı veya ilacı intravenöz hattan trombüsün olduğu bölgeye yönlendirerek, pıhtı çözücü ajanın iletimini ve/veya enjeksiyonunun sağlanmasıyla; trombüsün erimesini sağlayan tıbbi cihazlardır. Mevcut durumda standarda uygun olarak, tromboliz kateter üretim süreçlerindeki riskler de sadece olasılık ve şiddet kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Ayrıca standart, olasılık ve şiddet kriterlerinin değerlendirilmesi için nitel bir matris kullanımını uygun görmektedir. Oysaki tromboliz kateter üretim süreçlerinde ortaya çıkabilecek riskler üzerinde etkileri olan ya da olabilecek farklı kriterler de bulunmaktadır. Bununla birlikte, söz konusu farklı kriterlerin tutulan kayıtlar sayesinde, nicel değerlerine de ulaşılabilmektedir. Buna göre çalışmada standarttan farklı olarak, yeni risk kriterlerinin dikkate alınması ve söz konusu risk kriterlerinin ölçülebilir olmasına dikkat edilmesiyle, daha detaylı bir risk değerlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Böylece, standartta yer alan nitel kriterlerle birlikte, yeni nicel kriterler de risk değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yapısından faydalanılmıştır. ÇKKV’de birden fazla alternatif, birden fazla kriter dikkate alınarak, uzman grup tarafından değerlendirilmekte ve en iyi alternatifin seçimi gerçekleştirilmektedir. Risk değerlendirmesinde de risk türleri, birden fazla risk kriteri temelinde değerlendirilerek, öncelikle önlenmesi gereken risk türü belirlenmektedir. Bu nedenle, ÇKKV yapısı ile risk değerlendirme yapısı birbirine benzemektedir. Ayrıca, ÇKKV yöntemlerinin uygulanması ile risk değerlendirmesinde, nicel kriterler de dikkate alınabilmekte ve farklı kriterlerin etkileri, risklerin önceliklendirilmesine yansıtılabilmektedir. Bu amaçla literatür incelendiğinde, risk değerlendirmesi ve risk türlerinin önceliklendirilmesinde, farklı ÇKKV yöntemlerinin uygulandığı görülmüştür. Bu yöntemler arasında, son dönemlerde kullanılan, yeni nesil ÇKKV yöntemlerinden biri olan, Modifiye Kemeny Medyan Gösterge Sıralaması Uygunluk Yaklaşımı (Modified

Kemeny Median Indicator Ranks Accordance, KEMIRA-M) yönteminin oldukça az çalışmada uygulandığı belirlenmiştir. KEMIRA-M, 2014 yılında, Vilnius Gemidimas Teknik Üniversitesi araştırmacılarından Krylovas, Zavadskas ve Kosareva (2016) tarafından bir ÇKKV yöntemi olarak geliştirilmiştir. KEMIRA-M yöntemi, diğer ÇKKV yöntemlerine göre çok fazla başlangıç bilgisi gerektirmediği için, kriter ağırlıklarını belirlemede ve en uygun alternatifi seçmede rahatlıkla kullanılabilir. Yöntem, bilgiye ulaşmanın zor ve pahalı olduğu durumlarda esneklik sağlamaktadır. Ayrıca, KEMIRA-M yöntemi farklı yapılarıdaki kriterlere göre, alternatiflerin değerlendirilmesine imkân sağlayan bir yöntemdir. Bununla birlikte, kriterler benzerliklerine göre gruplara ayrıldığı için, kriter sayısında da herhangi bir sınırlama söz konusu değildir. Ayrıca, KEMIRA-M ile nicel ve nitel kriterler bir arada değerlendirilebilirken, uzman değerlendirmeleri de göz ardı edilmemektedir (Toktaş ve Can, 2018).

Tromboliz kateter ile ilgili istatistiklere bakıldığı zaman, 2017 Kamu Hastaneleri İstatistik Raporunda tüketim tutarına göre, ilk 100 tıbbi sarf malzeme arasında arter/ven tromboliz kateterleri 57. sırada yer almaktadır. 2016 yılı toplam tüketim tutarı 3.805.886 TL iken, 2017 yılında bu tutar 4.754.024 TL olarak %19,94'lük bir artış göstermiştir. Tromboliz kateter kullanımı, dünya çapında inme, pulmoner emboli ve derin ven trombozu prevalansının her geçen gün artmasıyla birlikte yaygınlaşmaktadır. Bunun yanı sıra, artan geriatri nüfusu, artan obezite vakaları, insanlardaki hareketsiz yaşam nedeniyle sözü geçen hastalıkların tetiklenmesi, tromboliz kateter kullanımında ve pazarının büyümesinde en büyük etkenler olarak görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization-WHO) 2020 Seyahat ve Kan Pıhtıları 1. Aşama çalışma sonuçlarına göre, venöz tromboembolizm (VTE) gelişme riskinin dört saat veya daha uzun süren seyahatlerden sonra, yaklaşık iki kat arttığı gösterilmiştir. Çalışma, uçak, tren, otobüs veya otomobil yolcularının, dört saatten uzun yolculuklarda oturdıkları ve hareketsiz kaldıkları için daha yüksek VTE riski altında olduklarını göstermiştir. Bunun nedeni, damarlarda kan pıhtısı oluşumunu artırabilen, uzun süreli hareketsizliğin neden olduğu damarlardaki kan durgunluğudur (World Health Organization, 2007). Küresel olarak, pulmoner emboli ve derin ven trombozu bulunan insanların sayısı, AIDS ve kansere yakalanan insan sayısından çok daha fazladır (Market Research Report, 2020). Kullanım sıklığının bu kadar fazla olduğu bir tıbbi cihazın üretim süreçlerinde, risk değerlendirmesi açısından farklı yaklaşımların geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada, tıbbi cihazlarla ilgili risk değerlendirme amacıyla gerçekleştirilmiş çalışmalara ve KEMIRA-M'in uygulandığı çalışmalara ilişkin bir literatür araştırması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu kaynaklara aşağıda özetle değinilmiştir.

Lin, Wang, Lin ve Liu (2014) çalışmalarında, tıbbi cihazlarda insan güvenilirliğini analiz etmek için kullanılan nitel ve nicel yöntemleri araştırmışlardır. Bunun için ilk olarak, SHELL (Software, Hardware, Environment, Live-ware and Central Live-ware) (adımlı bileşenlerinin adlarının ilk harflerinden alan Yazılım, Donanım, Çevre, Canlı Yazılım ve Merkezi Canlı Yazılım) modeli, tıbbi cihazların insan güvenilirliği için nitel bir analiz yapmak üzere geliştirilmiştir. SHELL modeli, insanı üretken sistemin entegre ve ayrılmaz bir bileşeni olarak görmektedir. Bundan sonra, tıbbi cihazların insan güvenilirliği ile ilgili potansiyel risklerini değerlendirmek için FMEA modeli

kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda, tıbbi cihazların insan güvenilirliği konusunda en önemli arayüz sisteminin L – L sistemi, yani Live-ware ile Central Live-ware arasındaki etkileşim olduğu belirlenmiştir. L – L sistemindeki sorunlar (Liderlik, İletişim ve İşbirliği) çok sayıda kazaya neden olabilmektedir. Bu nedenle, tıbbi cihaz tasarımcısının, L – L sistemini daha ayrıntılı olarak analiz etmesi gerektiği belirlenmiştir. Kirkire, Rane ve Jadhav (2015) çalışmalarında, bir dental ürün imalat şirketinde tıbbi ürün geliştirme (TÜG) sırasında ortaya çıkan riskleri belirlemek ve hataları en aza indirmek için, risk azaltma amacıyla yeni bir model önermiştir. Mevcut TÜG sürecinin her aşamasındaki faaliyetler ve her bir faaliyetle ilişkili riskler, tehlike kaynağına göre tanımlanmış ve kategorize edilmiştir. Riskler, Hata Türü ve Etkileri analizi (Failure Modes and Effect Analysis-FMEA) ve Bulanık FMEA kullanılarak analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, bulanık yaklaşımın risk öncelik sayısının tekrarlanmasını önlediği ve risk faktörlerinin değerlerini elde etmek için, uzman değerlendirmelerinin bilgiye dönüştürülmesini kolaylaştırdığı belirlenmiştir. Kirkire, Rane, ve Singh (2018) çalışmalarında, Yapısal Eşitlik Modeli (Structural Equation Modeling (SEM)) ile Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Ürün Performansı (Technique for Order of Preference by Similarity To Ideal Solution (F-TOPSIS) yöntemlerini entegre ederek, tıbbi cihaz geliştirme sürecindeki risk türlerini değerlendirmişlerdir. Uzman görüşleri dikkate alınarak uygulanan SEM ile risk türleri üç kategoriye ayrılmıştır. Söz konusu risk türleri, F-TOPSIS ile önceliklendirilmiştir. Çalışma sonucunda, karşılanmamış kullanıcı gereksinimlerinin en önemli risk türü olduğu belirlenmiştir. Wang Hu, Liu ve Shi (2019) çalışmalarında, geleneksel FMEA yöntemini, birçok dezavantaja sahip olduğu için eleştirmiştir. Bu çalışmada, aralıklı ikili dil değişkenleri (spaced binary language variables) ile entegre ÇKKV yöntemi olan TODIM kullanılarak, FMEA'nın performansını ve verimliliğini artırmak için yeni bir risk önceliklendirme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen FMEA yaklaşımının etkinliği, bir dental üretim şirketinde, tıbbi ürün geliştirme örneği ile doğrulanmıştır. Önerilen yeni yaklaşımın, mevcut risk önceliklendirme yaklaşımlarından daha üstün olduğu gösterilmiştir. Literatür araştırmasından da görüldüğü gibi tıbbi cihaz üretim süreçlerinde risk değerlendirmesi çalışmaları sınırlı sayıda. Ayrıca, bu çalışmaların hepsi de direkt üretim sürecine yönelik değildir. Ancak, tıbbi cihaz ürün geliştirme aşamasında gerçekleştirilen risk değerlendirme çalışmalarının olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, söz konusu çalışmaların Türkiye'de yapılmadığı belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde, tromboliz kateter veya kateter üretim süreçlerinde risk değerlendirmesi yapan bir yayın bulunamamıştır. KEMIRA-M ile ilgili yapılan çalışmalar ise, aşağıda yer almaktadır.

Krylovas, Zavadskas ve Kosareva (2016), Vilnius şehrinde, tehlikeli olmayan atıkları yakmak için kurulacak olan tesisin yer seçimi amacıyla, KEMIRA-M yöntemini önermişlerdir. Bu çalışmada, 7 kriter, 7 alternatif ve 5 uzman görüşüne yer verilerek, en uygun tesis yeri belirlenmiştir. Sarıçalı ve Kundacı (2017), bir tekstil işletmesi deposunun, fiziki şartlarına uygun forklift seçimi için KEMIRA-M yöntemini kullanmışlardır. Toktaş ve Can (2018) çalışmalarında, şantiyelerde iş sağlığı ve güvenliği açısından risk düzeyinin belirlenmesi amacıyla, KEMIRA-M ve Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment-QFD-KFY) yöntemlerini entegre ederek, şantiyeleri risk düzeyleri açısından sıralamışlardır. Sarıçalı (2018), bir mermer ocağında kullanılacak mermer kesme makinalarından biri olan katra makinesi seçimi

için KEMIRA-M ve COPRAS yöntemlerini birarada kullanmıştır. Toktaş ve Can (2019), tarafından Ankara'da bulunan dokuz alışveriş merkezini sıralamak için Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process (AHP) ve stokastik KEMIRA-M yaklaşımı önerilmiştir. AHP yöntemi, stokastik KEMIRA-M'in ağırlıklandırma prosedüründe kullanılmıştır. Önerilen entegre yaklaşımda, sınırlı sayıda karar vericiye bağımlılık ve öznel bir şekilde kriter ağırlıklarının belirlenmesi önlenmiştir. Kış, Can ve Toktaş (2020), bir elektrik dağıtım firması için depo yeri seçimi yapmak amacıyla KEMIRA-M yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada, 20 alternatif depo lokasyonu arasında en uygun lokasyon seçilmiştir. Delice ve Can (2020) çalışmalarında, işçiler için, kaldırma ile ilgili kriterler ve insanla ilgili kriterler olarak iki kriter setinin dikkate alınmasıyla, hangi işçinin en yüksek ergonomik risk seviyesine sahip olduğunu belirlemeyi amaçlamışlardır. Önerilen ergonomik risk değerlendirme yaklaşımında, KEMIRA-M ve iki boyutlu en iyi-en kötü yöntemi (Best-Worst Method-BWM) entegrasyonu gerçekleştirilmiştir ve kriter ağırlıkları elde edilmiştir. İkinci aşamada ise, Çok Amaçlı. Oran Analizi ile Optimizasyon (Multi-Objective. Optimization by Ratio Analysis (MOORA), oran yöntemi çok amaçlı optimizasyon, MOORA referans noktası ve karmaşık orantılı değerlendirme yöntemleri kullanılarak, çalışanların sıralamaları elde edilmiştir. Arslan (2020), acil servislerde risk değerlendirmesi için HTEA tabanlı Tam Tutarlılık Yöntemi (Full Consistency Method) FUCOM & KEMIRA-M yaklaşımı uygulanarak, alınması gereken önlemler sıralanmıştır. Delice ve Arslan (2020) çalışmalarında, 6 farklı dron çeşidi arasında en uygun duron seçimini yapmak için, KEMIRA-M yöntemini kullanmışlardır. Çalışma, KEMIRA-M yönteminin, teknolojik alanda cihaz seçimlerinde kullanılmasının da fayda sağlayacağını göstermektedir.

KEMIRA-M yöntemini kullanana çalışmalara bakıldığı zaman ise, az sayıda çalışma olmakla birlikte, bu çalışma sayılarının son yıllarda arttığı belirlenmiştir. Söz konusu yayınlar incelendiğinde, KEMIRA-M yönteminin farklı karar problemleri için kullanıldığı ve risk değerlendirme amacıyla sadece üç çalışmada KEMIRA-M'den faydalandığı belirlenmiştir.

Literatür incelediğinde, KEMIRA-M yönteminin tıbbi cihaz üretim sürecindeki risklerin önceliklendirilmesi amacıyla uygulandığı hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu kapsamda, gerçekleştirilen tez çalışma ile tıbbi cihaz risk değerlendirme literatürüne katkı sağlanacağı düşünülmektedir. KEMIRA-M yöntemi ile tromboliz kateter üretim sürecindeki risklerin değerlendirilmesinde hem nitel hem nicel risk kriterleri eş zamanlı dikkate alınabilecek, uzman değerlendirmeleri sonuçlara yansıtılabilecek ve üretim süreçlerinde risk öncelikleri daha hassas bir şekilde belirlenerek, alınacak aksiyonlar daha etkin bir şekilde tanımlanabilecektir. Bu çalışmada, tıbbi cihaz alanında veriye ulaşmanın oldukça zor olması, risk değerlendirmesinde farklı kriterlerin dikkate alınması gerekliliği, bu kriterlerin bazılarının nicel bazılarının ise nitel değerlere sahip olması sebepleri ile KEMIRA-M yöntemi tercih edilmiştir. Tıbbi cihaz alanında bilgiye ulaşmanın zor olmasının sebebi, üretici sayısının ülkemizde oldukça az olması ve tıbbi cihaz üretimlerinin oldukça özel ve zor üretimler olması sebebiyle veri paylaşımının oldukça zor olmasıdır.

Çalışmanın diğer kısımlarının organizasyonu ise şu şekildedir. İkinci bölümde, KEMIRA-M yönteminden bahsedilmiş, üçüncü bölümde KEMIRA-M kullanılarak

tromboliz kateter üretim süreçlerinde ortaya çıkan risklerin değerlendirilmesine yer verilmiş, dördüncü bölümde sonuçlar ve tartışma paylaşılmış, beşinci bölümde ise çalışmanın önemi ve gelecek dönem çalışmalarına yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. KEMIRA-M Yöntemi

Aşağıda, KEMIRA-M yönteminin uygulamala adımları yer almaktadır.

2.1.1. BirinciAdım: Problem yapısına uygun olarak alternatiflerin, kriterlerin belirlenmesi ve uzman grubun oluşturulması.

Kriterler, yapısal benzerliklerine göre iki gruba ayrılır. Bu gruplar, problemin yapısına göre birinci grup-ikinci grup kriter grupları ya da içsel-dışsal kriter grupları vb. olabilir. Birinci kriter grubu, x_a ; $a = 1, \dots, i, \dots, n$ olarak, ikinci kriter grubu ise, y_b ; $b = 1, \dots, j, \dots, m$ olarak ifade edilir. Alternatifler, S_c ; $c = 1, \dots, C$, bu alternatifleri değerlendirebilecek uzman kişiler ise U_d ; $d = 1, \dots, D$ olarak tanımlanır.

2.1.2. İkinciAdım: Başlangıç karar matrisi oluşturulması.

Eşitlik (1)'de görüldüğü gibi, başlangıç karar matrisi $[D]$ oluşturulur.

$$[D] = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_a^{(1)} & \dots & x_n^{(1)} & y_1^{(1)} & \dots & y_b^{(1)} & \dots & y_m^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{(i)} & \dots & x_a^{(i)} & \dots & x_n^{(i)} & y_1^{(i)} & \dots & y_b^{(i)} & \dots & y_m^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{(c)} & \dots & x_a^{(c)} & \dots & x_n^{(c)} & y_1^{(c)} & \dots & y_b^{(c)} & \dots & y_m^{(c)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada;

$x_a^{(c)}$; c . alternatfin birinci grupta yer alan a . ($a = 1, \dots, n$) kriter için aldığı değeri,

$y_b^{(c)}$; c . alternatfin ikinci grupta yer alan b . ($b = 1, \dots, m$) kriter için aldığı değeri göstermektedir.

2.1.3. Üçüncü Adım: Maliyet türü kriterlerin fayda türü kriterlere dönüştürülmesi.

KEMIRA-M'de karar sürecinde, dikkate alınan kriterler arasında maliyet türü olanlar, fayda türüne dönüştürülmelidir. Maliyet türü kriterler açısından alternatiflerin her zaman düşük değerler almaları istenirken, fayda türü kriterler için alternatiflerin her zaman yüksek değerlere sahip olması istenir. Bir alternatif, herhangi bir fayda türü kriter açısından, diğer alternatiflere göre daha yüksek bir değere sahipse, ilgili alternatif bu kriter açısından diğer alternatiflerden daha iyi bir performansla sahiptir sonucu ortaya çıkar. x_a kriteri, maliyet türü bir kriter ise, bu kriterin değeri $\frac{1}{x_a}$ uygulanarak, fayda türü kritere dönüştürülür (Krylovas vd., 2016) Bu dönüştürme işlemi, aynı şekilde ikinci grup kriterler (y_b ; $b = 1, \dots, m$) için de uygulanır.

2.1.4. Dördüncü Adım: Başlangıç karar matrisinin normalize edilmesi.

Başlangıç karar matrisi $[D]$, Eşitlik (2) kullanılarak normalize edilir.

$$x_a^{(c)*} = \frac{x_a^{(c)} - x_{min}^{(c)}}{x_{max}^{(c)} - x_{min}^{(c)}}, \quad y_b^{(c)*} = \frac{y_b^{(c)} - y_{min}^{(c)}}{y_{max}^{(c)} - y_{min}^{(c)}} \quad (2)$$

Burada;

$x_a^{(c)*}$ = Birinci grupta yer alan, a . kriter için c . alternatifin normalize değerini,

$y_b^{(c)*}$ = İkinci grupta yer alan, b . kriterin c . alternatif için normalize değerini,

$x_{max}^{(c)}, x_{min}^{(c)}$ = Alternatiflere göre, birinci grupta yer alan her bir kriterin en büyük ve küçük değerini gösterir.

$y_{max}^{(c)}, y_{min}^{(c)}$ = Alternatiflere göre her bir İKİNCİ grup kriterinin en büyük ve küçük değerini göstermektedir.

2.1.5. Beşinci Adım: Her bir uzman için kriter önceliklerinin belirlenmesi

Her bir uzman, ayrı ayrı ve bağımsız bir şekilde, kendi görüşüne göre, birinci grup ve ikinci grupta yer alan kriterleri önceliklendirir. İki gruptan herhangi birisinde bulunan kriterlerden birisine, "1" değeri atanırsa, ilgili kriter, aynı grupta yer alan diğer kriterlerden daha önemlidir sonucuna ulaşılır. Tablo 1'de, birinci ve ikinci grup kriterler için uzmanların öncelik sıralamaları yer almaktadır.

Tablo 1. Birinci ve ikinci grupta yer alan kriterler için uzmanlar tarafından belirlenen öncelik sıralamaları

U_d	x_1	...	x_i	...	x_n	y_1	...	y_j	...	y_m
1	$(x_1)_r^1$	...	$(x_i)_r^1$	...	$(x_n)_r^1$	$(y_1)_r^1$	...	$(y_j)_r^1$	...	$(y_m)_r^1$
...
d	$(x_1)_r^d$	...	$(x_i)_r^d$	...	$(x_n)_r^d$	$(y_1)_r^d$	...	$(y_j)_r^d$	...	$(y_m)_r^d$
...
D	$(x_1)_r^D$	...	$(x_i)_r^D$	...	$(x_n)_r^D$	$(y_1)_r^D$	...	$(y_j)_r^D$	...	$(y_m)_r^D$

Burada;

$(x_i)_r^d$ = d . uzman tarafından, birinci grupta yer alan, i . kriter için belirlenen öncelik sırasımı,

$(y_j)_r^d$ = d . uzman tarafından, ikinci grupta yer alan, j . kriter için belirlenen öncelik sırasımı göstermektedir. Bununla birlikte, $(x_a)_r^d \in \{1,2, \dots, n\}$ ve $(y_b)_r^d \in \{1,2, \dots, m\}$ olarak ifade edilir.

2.1.6. Altıncı Adım: Tüm uzmanlar için öncelik matrislerinin oluşturulması

Beşinci adımda belirlenen, her bir uzman için, birinci ve ikinci grupta yer alan kriter öncelikleri kullanılarak, bu öncelikler birinci grup kriterler için, $x_{(1)}^d > x_{(2)}^d > \dots > x_{(i)}^d > \dots > x_{(n)}^d$ ve ikinci grup kriterler için $y_{(1)}^d > y_{(2)}^d > \dots > y_{(j)}^d > \dots > y_{(m)}^d$ sıralamalarına dönüştürülür. Burada, $x_{(i)}^d$ ve $y_{(j)}^d$ d . uzman için i . ve j . sırada bulunan birinci ve ikinci grup kriterlerini ifade etmektedir. Sonrasında, birinci grup kriterler için, her bir uzmana ait öncelik matrisi $[P_x^d]_{n \times n}$ ve ikinci grup kriterler için her bir uzmana ait öncelik matrisi $[P_y^d]_{m \times m}$ elde edilir.

Her bir uzman için oluşturulan, birinci grup kriterlere ait öncelik matrisi $[P_x^d]_{n \times n}$ 'nin her bir elemanı, $(p_{ai})^d, i = 1,2, \dots, n, a = 1,2, \dots, n$. $(p_{ai})^d$ olarak gösterilir. Eşitlik (3)'te verilen $(p_{ai})^d, d$. uzman için birinci grupta yer alan, a . kriterin i . kritere göre önceliğini tanımlar.

$$(p_{ai})^d = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x_{(a)}^d < x_{(i)}^d \\ 1, & \text{eğer } x_{(a)}^d > x_{(i)}^d \end{cases} \quad (3)$$

Benzer şekilde, her bir uzman için, ikinci grup kriterlere ait öncelik matrisi $[P_y^d]_{m \times m}$ 'nin her bir elemanı, $(p_{bj})^d, b = 1,2, \dots, m, j = 1,2, \dots, m$. olarak gösterilir. $(p_{bj})^d$, Eşitlik (4)'te verildiği gibi, d . uzman için, ikinci grupta yer alan b . kriterin j . kritere göre önceliğini tanımlar.

$$(p_{bj})^d = \begin{cases} 0, & \text{eğer } y_{(b)}^d < y_{(j)}^d \\ 1, & \text{eğer } y_{(b)}^d > y_{(j)}^d \end{cases} \quad (4)$$

2.1.7. Yedinci Adım: Her bir kriter grubu için MPCs sıralamalarının belirlenmesi

Her bir uzman için öncelik sıralamaları arasındaki uzaklık hesaplanır. Her bir uzman için Adım 6'da oluşturulan birinci grup kriterlere $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ ait öncelik matrisi ile diğer uzmanların aynı kriter grubu için oluşturulan öncelik matrisleri arasındaki fark, $\rho_x^d, a = 1, \dots, i, \dots, n$ olarak ifade edilir ve Eşitlik (5)'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \rho_x^1 &= \sum_{d=1}^D \sum_{a=1}^n \sum_{i=1}^n |(p_{ai})^1 - (p_{ai})^d| \\ \rho_x^2 &= \sum_{d=1}^D \sum_{a=1}^n \sum_{i=1}^n |(p_{ai})^2 - (p_{ai})^d| \\ &\vdots \\ \rho_x^S &= \sum_{d=1}^D \sum_{a=1}^n \sum_{i=1}^n |(p_{ai})^D - (p_{ai})^d| \end{aligned} \quad (5)$$

Sonrasında, ρ_x^d değerleri arasından en küçük olanı Eşitlik (6)'daki gibi seçilir.

$$\rho_x = \min\{\rho_x^1, \rho_x^2, \dots, \rho_x^D\} \quad (6)$$

İkinci grup kriterler için de Eşitlik (5) ve (6)'da verilen, aynı işlem basamakları uygulanarak, sırasıyla ρ_y^d ve ρ_y değerleri elde edilir.

$$\begin{aligned}\rho_Y^1 &= \sum_{d=1}^D \sum_{b=1}^m \sum_{j=1}^m |(p_{bj})^1 - (p_{bj})^d| \\ \rho_Y^2 &= \sum_{s=1}^D \sum_{b=1}^m \sum_{z=1}^m |(p_{bz})^2 - (p_{bz})^d| \\ &\vdots \\ \rho_Y^L &= \sum_{d=1}^D \sum_{b=1}^m \sum_{z=1}^m |(p_{bz})^D - (p_{bz})^d|\end{aligned}\quad (7)$$

Eşitlik (7) kullanılarak, ikinci grup kriterler için minimum değer $\rho_Y^l, l = 1, 2, \dots, D$ Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanır.

$$\rho_Y = \min\{\rho_Y^1, \rho_Y^2, \dots, \rho_Y^L\} \quad (8)$$

Eşitlik (6) ve Eşitlik (7)'de verilen ρ_X ve ρ_Y değerlerini sağlayan uzaman, d^* olarak tanımlanır. d^* uzamanının birinci ve ikinci grup kriterler için öncelik sıralaması; $x_{(1)}^{d^*} > x_{(2)}^{d^*} > \dots > x_{(n)}^{d^*}$ ve $y_{(1)}^{d^*} > y_{(2)}^{d^*} > \dots > y_{(m)}^{d^*}$ şeklinde ifade edilir. Bu sıralama, birinci grup ve ikinci grup kriterler için medyan öncelik bileşenleri (median priority components –MPCs) olarak kabul edilir.

2.1.8. Sekizinci Adım: Medyan öncelik bileşenlerine göre kriter ağırlıklarının hesaplanması

Bu adımda, yedinci adımda birinci ve ikinci grup kriterler için belirlenen MPCs sıralamasına uygun olarak, kriter ağırlıkları belirlenir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için, Sıralama Uygunluk Göstergesi (Rank Accordance Indicator) yöntemi kullanılır. İlk olarak, medyan öncelik bileşenleri sıralamasına uygun olacak şekilde, Eşitlik (9) ve (10)'da belirtildiği gibi ağırlık sıralamaları oluşturulur.

$$w_{x_{(1)}}^{d^*} \geq w_{x_{(2)}}^{d^*} \geq \dots \geq w_{x_{(a)}}^{d^*} \geq w_{x_{(n)}}^{d^*} \quad (9)$$

$$w_{y_{(1)}}^{d^*} \geq w_{y_{(2)}}^{d^*} \geq \dots \geq w_{y_{(b)}}^{d^*} \geq w_{y_{(m)}}^{d^*} \quad (10)$$

Bu sıralama işleminden sonra, Eşitlik (9) ve Eşitlik (10)'da gerçekleştirilen sıralamalar göz önünde bulundurularak ve $0 \leq w_{x_a}, w_{y_b} \leq 1$ olacak şekilde, Eşitlik (11) ve Eşitlik (12)'de gösterildiği gibi, ağırlık toplamalarının "1" olması sağlanarak, kriterler için ağırlık kombinasyonları belirlenir.

$$w_{x_1} + w_{x_2} + \dots + w_{x_a} + \dots + w_{x_n} = 1 \quad (11)$$

$$w_{y_1} + w_{y_2} + \dots + w_{y_b} + \dots + w_{y_m} = 1 \quad (12)$$

2.1.9. Dokuzuncu Adım: Alternatiflerin sıralanması

Tüm alternatifler için, Eşitlik (13) kullanılarak, ağırlıklı normalize değerler elde edilir.

$$x_{w_x}(c) = \sum_{a=1}^n w_{x_a} x_a^{(c)*}; y_{w_y}(c) = \sum_{b=1}^m w_{y_b} y_b^{(c)*} \quad (13)$$

Sonrasında, Eşitlik (14) ile ağırlıklı normalize değerler arasındaki mutlak farkı minimum yapan, birinci ve ikinci kriterler için ağırlık setleri belirlenir.

$$F(X, Y) = \min_{w_{x,y}} \sum_D |X_{w_x}(c) - Y_{w_y}(c)| \quad (14)$$

Bu ağırlık setleri kullanılarak, Eşitlik (15) ile alternatifler sıralanır. En yüksek Z_c değerine sahip olan alternatif, en iyi alternatif olarak tanımlanır.

$$Z_c = X_{w_x}(c) + Y_{w_y}(c) \quad (15)$$

3. Uygulama

Bu çalışmada, bir tıbbi cihaz üretim tesisinde yer alan, tromboliz kateter üretim sürecindeki riskler, KEMIRA-M yöntemi kullanılarak önceliklendirilmiştir.

Birinci Adım: Problem yapısına uygun olarak alternatiflerin, kriterlerin belirlenmesi ve uzman grubun oluşturulması.

Bu adımda, tromboliz üretim sürecinde en fazla karşılaşılan 10 farklı risk türü ($S_c; c = 1, \dots, 10$) için, 3 farklı birinci grup kriter ve 4 farklı ikinci grup kriter temel alınarak değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Birinci grupta, şiddet (x_1), olasılık (x_2) ve sıklık (x_3) kriterleri bulunmaktadır. İkinci grupta ise, malzeme maliyeti (TL) (y_1), iş gücü maliyeti (TL) (y_2), geri dönüş adeti (y_3) ve ürün performans düşüklüğü (%) (y_4), kriterleri yer almaktadır. Değerlendirme, tromboliz kateter üretim sürecinde ve klinik uygulamasında yer alan, 5 kişilik bir uzman grubu tarafından yapılmıştır.

Birinci grup kriterler $X = (x_1, x_2, x_3)$ şeklinde gösterilmektedir. Kriterler, risk değerlendirmesi kapsamında risk türleri üzerinde etkili olabileceği düşünülen faktörler dikkate alınarak, uzman grup tarafından belirlenmiştir. Birinci kriter grubu nitel kriterlerden, ikinci kriter grubu nicel kriterlerden oluşmaktadır. Nicel kriterler, en doğru sayısal veri elde edilecek şekilde seçilmiştir. Bu kapsamda, birinci grupta bulunan şiddet kriteri, riskin ortaya çıkması sonucunda, hasta, kullanıcı ve çevre üzerinde yaratacağı zarar seviyesini tanımlamaktadır. Olasılık kriteri, riskin gerçek hayatta meydana gelme ihtimalini göstermektedir. Sıklık kriteri, riskin oluşma frekansıdır.

Nicel kriterler $Y = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ şeklinde gösterilmektedir. Malzeme maliyeti kriteri, tromboliz kateter üretimde kullanılan tüm malzemelerin yıllık maliyetini içerir. İş gücü maliyeti kriteri, tromboliz kateter üretiminde çalışan personelin yıllık maliyetine göre belirlenmiştir. Geri dönüş adeti kriteri, üretim sonucunda kullanıcıya ulaşmış, bir hata sonucu, yıllık geri dönüş yapan ürünleri kapsar. Ürün performans düşüklüğü kriteri, belirlenen hatalar sonucu, tromboliz kateter üzerinde oluşan performans azalmasını oluşturur.

Çalışmaya katılan uzmanlar sırasıyla; 7 yıldır DVT tedavilerinde tromboliz kateter uygulaması yapmış bir hekim, AR-GE biriminde ürün tasarımını gerçekleştiren ve firma bünyesinde 5 yıldır çalışan bir makine mühendisi, 2 yıldır tromboliz kateter kalite kontrol basamağında yer alan bir biyomedikal mühendisi, 3 yıldır tromboliz kateter uygulamasını gerçekleştiren bir klinik destek elemanı ve 2,5 yıldır tromboliz kateter üretim ve ürün CE belgelendirme sürecinde yer alarak, biyomedikal mühendisi olarak çalışan bir kişiden oluşmaktadır.

İkinci Adım: Başlangıç karar matrisinin oluşturulması

Tablo 2'de, tromboliz kateter üretim sürecinde en çok karşılaşılan 10 risk türü için başlangıç karar matrisi [D] oluşturulmuştur.

Tablo 2. Başlangıç Karar Matrisi

Alternatifler (Risk Türleri)	Birinci Grup Kriterler			İkinci Grup Kriterler			
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4
S_1	4	4	5	5,800	0,610	488	90
S_2	3	4	3	0,200	0,150	136	60
S_3	4	3	3	0,050	0,300	409	50
S_4	4	4	4	1,200	0,300	398	50
S_5	5	4	5	0,600	0,450	457	80
S_6	5	3	4	0,200	0,150	87	85
S_7	4	3	4	0,200	0,150	92	80
S_8	3	3	3	0,800	0,240	73	70
S_9	3	4	3	3,900	0,380	122	85
S_{10}	3	4	3	1,600	0,130	165	65

Tablo 2’de yer alan veriler, son bir yıla ait firma kayıtlarından eşinilmiştir.

Üçüncü Adım: Maliyet türü kriterlerin, fayda türü kriterlere dönüştürülmesi

Uzmanlar tarafından belirlenen birinci ve ikinci grup kriterlerin hepsi, değerlerinin düşük olmasının istendiği kriterlerdir. Buna göre, dikkate alınan bütün kriterlerin maliyet türü kriterler oldukları söylenebilir. Bu nedenle, $[D]$ ’de yer alan, birinci ve ikinci grup kriterlerin değerleri sırasıyla, $\frac{1}{x_a}$ ve $\frac{1}{y_b}$ dönüşümüne tabi tutularak, fayda türü kriter haline getirilir. Tablo 3’te yer alan $[D]$, söz konusu dönüşüm sonucunda yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 3. Dönüştürülmüş başlangıç karar matrisi

Alternatifler (Risk Türleri)	Birinci Grup Kriterler			İkinci Grup Kriterler			
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4
S_1	0,250	0,250	0,200	0,172	1,639	0,002	0,011
S_2	0,330	0,250	0,330	5,000	6,667	0,007	0,017
S_3	0,250	0,330	0,330	20,000	3,333	0,002	0,020
S_4	0,250	0,250	0,250	0,833	3,333	0,003	0,020
S_5	0,200	0,250	0,200	1,667	2,222	0,002	0,013
S_6	0,200	0,330	0,250	5,000	6,667	0,012	0,012
S_7	0,250	0,330	0,250	5,000	6,667	0,011	0,013
S_8	0,330	0,330	0,330	1,250	4,167	0,014	0,014
S_9	0,330	0,250	0,330	0,256	2,632	0,008	0,013
S_{10}	0,330	0,250	0,330	0,625	7,692	0,006	0,015

Dördüncü Adım: Başlangıç karar matrisinin normalize edilmesi

Üçüncü adımda dönüşüm işlemi yapılan $[D]$ ’deki her bir eleman, Eşitlik (2) kullanılarak normalize edilir. Aşağıda yer alan Tablo 4’te normalize karar matrisi $[N]$, görülmektedir.

Tablo 4. Normalize başlangıç karar matrisi

Alternatifler (Risk Türleri)	Birinci Grup Kriterler			İkinci Grup Kriterler			
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4
S_1	0,385	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_2	1,000	0,000	1,000	0,244	0,831	0,453	0,629
S_3	0,385	1,000	1,000	1,000	0,280	0,034	1,000
S_4	0,385	0,000	0,385	0,033	0,280	0,043	1,000
S_5	0,000	0,000	0,000	0,075	0,096	0,009	0,157
S_6	0,000	1,000	0,385	0,244	0,831	0,812	0,101
S_7	0,385	1,000	0,385	0,244	0,831	0,761	0,157
S_8	1,000	1,000	1,000	0,054	0,418	1,000	0,360
S_9	1,000	0,000	1,000	0,004	0,164	0,530	0,191
S_{10}	1,000	0,000	1,000	0,023	1,000	0,350	0,483

Beşinci Adım: Her bir uzman için kriter önceliklerinin belirlenmesi

Birbirinden bağımsız, tromboliz kateter üretimi alanında uzman, 5 kişinin gerçekleştirdiği kriter sıralamaları Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Uzmanlara ait kriter sıralamaları

Uzman Grup	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4
U_1	1	3	2	3	2	1	4
U_2	1	3	2	3	4	2	1
U_3	2	3	1	3	4	1	2
U_4	1	2	3	3	4	2	1
U_5	1	3	2	4	3	1	2

Altıncı Adım: Tüm uzmanlar için öncelik matrislerinin oluşturulması

Adım 5’te verilen Tablo 6 kullanılarak, tüm uzmanlar için kriterlere ait öncelik sıraları elde edilmiş ve Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Uzmanlara ait kriter öncelikleri

Uzman Grup	Birinci Grup Kriterler			İkinci Grup Kriterler			
U_1	$x_{(1)}^1$	$x_{(3)}^1$	$x_{(2)}^1$	$y_{(3)}^1$	$y_{(2)}^1$	$y_{(1)}^1$	$y_{(4)}^1$
U_2	$x_{(1)}^2$	$x_{(3)}^2$	$x_{(2)}^2$	$y_{(4)}^2$	$y_{(3)}^2$	$y_{(1)}^2$	$y_{(2)}^2$
U_3	$x_{(3)}^3$	$x_{(1)}^3$	$x_{(2)}^3$	$y_{(3)}^3$	$y_{(4)}^3$	$y_{(1)}^3$	$y_{(2)}^3$
U_4	$x_{(1)}^4$	$x_{(2)}^4$	$x_{(3)}^4$	$y_{(4)}^4$	$y_{(3)}^4$	$y_{(1)}^4$	$y_{(2)}^4$
U_5	$x_{(1)}^5$	$x_{(3)}^5$	$x_{(2)}^5$	$y_{(3)}^5$	$y_{(4)}^5$	$y_{(2)}^5$	$y_{(1)}^5$

Sıralamalar elde edildikten sonra, her bir uzman için Eşitlik (3) kullanılarak, öncelik matrisi oluşturulur. Aşağıda yer alan, Eşitlik

(16), (17) ve (18)'de, uzmanların birinci grup kriterler için öncelik matrisleri gösterilmektedir.

$$[P_X^1]_{3 \times 3} = [P_X^2]_{3 \times 3} = [P_X^5]_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad (16)$$

$$[P_X^3]_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad (17)$$

$$[P_X^4]_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad (18)$$

Aynı şekilde, $Y = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ kriterleri için sıralamalar elde edildikten sonra, her bir uzman için Eşitlik (4) kullanılarak, öncelik matrisi oluşturulur. Aşağıda yer alan, Eşitlik (19), (20), (21) ve (22)'de, uzmanların birinci grup kriterler için öncelik matrisleri gösterilmektedir.

$$[P_Y^2]_{4 \times 4} = [P_Y^4]_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \quad (19)$$

$$[P_Y^1]_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \quad (20)$$

$$[P_Y^3]_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \quad (21)$$

$$[P_Y^5]_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \quad (22)$$

Yedinci Adım: Her bir kriter grubu için MPCs sıralamalarının belirlenmesi

Birinci grup kriterler $X = (x_1, x_2, x_3)$ 'e ait, her bir uzmanın öncelik matrisi ile diğer dört uzmanın öncelik matrisleri arasındaki mutlak fark toplamları Eşitlik (5) kullanılarak, Eşitlik (23)'teki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \rho_X^1 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(1)}, P^{(D)}) = 4 \\ \rho_X^2 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(2)}, P^{(D)}) = 4 \\ \rho_X^3 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(3)}, P^{(D)}) = 10 \\ \rho_X^4 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(4)}, P^{(D)}) = 10 \\ \rho_X^5 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(5)}, P^{(D)}) = 4 \end{aligned} \quad (23)$$

Eşitlik (23)'ten de görüldüğü gibi, mutlak toplam fark değerinin minimum olduğu karar vericiler birinci, ikinci ve beşinci karar

vericilerdir. ρ_X^1, ρ_X^2 ve ρ_X^5 sonuçlarından da aynı durum gözlemlenebilmektedir. Buna göre, birinci grup kriterler için MPCs sıralaması, birinci, ikinci veya beşinci karar vericinin yaptığı sıralama olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, MPCs sıralaması $U_1 = U_2 = U_5$ veya $x_1^{1,2,5*} > x_3^{1,2,5*} > x_2^{1,2,5*}$ olarak elde edilir. Buna göre, önem derecesi en yüksek olan kriter, şiddet kriteri olarak belirlenirken, bunu sıklık ve olasılık kriterleri takip etmektedir.

İkinci grup kriterler $Y = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ 'e ait, her bir uzmanın öncelik matrisi ile diğer dört uzmanın öncelik matrisleri arasındaki mutlak fark toplamları Eşitlik (7) kullanılarak, Eşitlik (24)'teki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \rho_Y^1 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(1)}, P^{(D)}) = 26 \\ \rho_Y^2 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(2)}, P^{(D)}) = 14 \\ \rho_Y^3 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(3)}, P^{(D)}) = 12 \\ \rho_Y^4 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(4)}, P^{(D)}) = 14 \\ \rho_Y^5 &= \sum_{D=1}^5 \rho(P^{(5)}, P^{(D)}) = 14 \end{aligned} \quad (24)$$

Eşitlik (24)'ten de görüldüğü gibi, mutlak toplam fark değerinin minimum olduğu karar verici üçüncü karar vericidir ve bu durum, ρ_Y^3 'de görülmektedir. Buna göre, ikinci grup kriterler için MPCs sıralaması $y_3^{3*} > y_4^{3*} > y_1^{3*} > y_2^{3*}$ şeklinde gösterilir. Buna göre, önem düzeyi en yüksek kriter, geri dönüş adedi olarak belirlenmiş ve bu kriteri sırasıyla, ürün performans düşüklüğü, malzeme maliyeti ve iş gücü maliyeti kriterleri izlemiştir.

Sekizinci Adım: Medyan öncelik bileşenlerine göre kriter ağırlıklarının hesaplanması

Birinci grup ve ikinci grup kriterler için 7. Adım'da belirlenen $x_1^{1,2,5*} > x_3^{1,2,5*} > x_2^{1,2,5*}$ ve $y_3 > y_3^{3*} > y_4^{3*} > y_1^{3*} > y_2^{3*}$ sıralamalarına uygun olacak şekilde, Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) kullanılarak kriter ağırlık sıralaması Eşitlik (25) ve (26)'daki gibi elde edilir.

$$w_{x_1} > w_{x_3} > w_{x_2} \quad (25)$$

$$w_{y_3} > w_{y_4} > w_{y_1} > w_{y_2} \quad (26)$$

Buna göre, birinci grup kriterler için 14 farklı, olası ağırlık değeri elde edilmiş ve Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Birinci grup kriterler için MPC'ye bağlı olası ağırlıklar

Sıra Numarası	w_{x_1}	w_{x_2}	w_{x_3}	Sıra Numarası	w_{x_1}	w_{x_2}	w_{x_3}
1	1,000	0,000	0,000	8	0,600	0,100	0,300
2	0,900	0,000	0,100	9	0,600	0,200	0,200
3	0,800	0,100	0,100	10	0,500	0,000	0,500
4	0,800	0,000	0,200	11	0,500	0,100	0,400
5	0,700	0,000	0,300	12	0,500	0,200	0,300
6	0,700	0,100	0,200	13	0,400	0,200	0,400
7	0,600	0,000	0,400	14	0,400	0,300	0,300

Aynı şekilde, ikinci grup kriterler için 23 adet, olası ağırlık değeri elde edilmiş ve Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. İkinci grup kriterler için MPC’ye bağlı olası ağırlıklar

Sıra Numarası	w_{y_1}	w_{y_2}	w_{y_3}	w_{y_4}	Sıra Numarası	w_{y_1}	w_{y_2}	w_{y_3}	w_{y_4}
1	0,000	0,000	1,000	0,000	13	0,100	0,000	0,500	0,400
2	0,000	0,000	0,900	0,100	14	0,200	0,000	0,500	0,300
3	0,000	0,000	0,800	0,200	15	0,100	0,100	0,500	0,300
4	0,100	0,000	0,800	0,100	16	0,200	0,100	0,500	0,200
5	0,000	0,000	0,700	0,300	17	0,200	0,000	0,400	0,400
6	0,100	0,000	0,700	0,200	18	0,100	0,100	0,400	0,400
7	0,100	0,100	0,700	0,100	19	0,300	0,000	0,400	0,300
8	0,000	0,000	0,600	0,400	20	0,200	0,100	0,400	0,300
9	0,100	0,000	0,600	0,300	21	0,200	0,200	0,400	0,200
10	0,200	0,000	0,600	0,200	22	0,300	0,100	0,300	0,300
11	0,100	0,100	0,600	0,200	23	0,200	0,200	0,300	0,300
12	0,000	0,000	0,500	0,500					

Dokuzuncu Adım: Alternatif sıralamalarının belirlenmesi

Bu adımda, risk kriterlerine ait tüm olası ağırlık değerleri dikkate alınarak, Eşitlik (14)’teki gibi $F(X, Y)$ değerleri elde edilmiş ve Tablo 10’da sunulmuştur.

Tablo 10’da, $F(X, Y)$ fonksiyon değeri için, $23 \times 14 = 322$ farklı değer hesaplanmıştır. Tabloda görüldüğü üzere, $F(X, Y)$ fonksiyonunun en küçük değeri, birinci grup kriterler için (X) 14. sütünde, ikinci grup kriterler (Y) için 5. satırda elde edilmiştir Tablo 8’deki 14 numaralı değer, aynı şekilde Tablo 9’daki 5 numaralı değerlere bakılarak, birinci grup ve ikinci grup kriterlerinin ağırlıkları bulunur. Buna göre, birinci grup kriterler $X = (x_1, x_2, x_3)$ için ağırlıklar; $w_{x_1} = 0,4$; $w_{x_2} = 0,3$; $w_{x_3} = 0,3$ şeklindedir. İkinci grup kriterler $Y = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ için ise, $w_{y_1} = 0,0$; $w_{y_2} = 0,0$; $w_{y_3} = 0,7$; $w_{y_4} = 0,3$ ağırlıkları edle edilir. Buna göre, Eşitlik (15) kullanılarak, risk türlerinin sıralaması, Tablo 11’deki gibi gerçekleştirilir.

Tablo 11. Risk türlerinin sıralamaları

w_x, w_y	0,4	0,3	0,3	0,0	0,0	0,7	0,3					
S_c	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4	$x_{w_x(c)}$	$x_{w_y(c)}$	Z_c	Sıralama	
S_1	0,385	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,154	0,000	0,154	9	
S_2	1,000	0,000	1,000	0,244	0,831	0,453	0,629	0,700	0,506	1,206	2	
S_3	0,385	1,000	1,000	1,000	0,280	0,034	1,000	0,454	0,324	0,778	8	
S_4	0,385	0,000	0,385	0,033	0,280	0,043	1,000	0,269	0,330	0,599	7	
S_5	0,000	0,000	0,000	0,075	0,096	0,009	0,157	0,000	0,053	0,053	10	
S_6	0,000	1,000	0,385	0,244	0,831	0,812	0,101	0,415	0,599	1,014	6	
S_7	0,385	1,000	0,385	0,244	0,831	0,761	0,157	0,569	0,580	1,149	3	
S_8	1,000	1,000	1,000	0,054	0,418	1,000	0,360	1,000	0,808	1,808	1	
S_9	1,000	0,000	1,000	0,004	0,164	0,530	0,191	0,700	0,428	1,128	4	
S_{10}	1,000	0,000	1,000	0,023	1,000	0,350	0,483	0,700	0,390	1,090	5	

Tablo 11’de Z_c değerlerine göre gerçekleştirilen sıralamaya göre, S_8 ilk sırada seçilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada kriter önceliklerine ilişkin elde edilen sonuçlara göre, birinci grup kriterler için sıralama şiddet, sıklık ve olasılık şeklinde olurken, ikinci grup kriterler için sıralama, geri dönüş adedi, ürün performans düşüklüğü, malzeme maliyeti ve iş gücü maliyeti olarak ortaya çıkmıştır.

Risk değerlendirmesinde, alternatifleri oluşturan 10 risk türü ise, KEMIRA-M yöntemi kullanılarak sıralandığında, $H_8 > H_2 > H_7 > H_9 > H_{10} > H_6 > H_4 > H_3 > H_1 > H_5$ sıralaması elde edilmiştir. Elde edilen sıralamadan da görüldüğü gibi, S_8 risk türü öncelikle önlenmesi gereken risk türü olarak ortaya çıkmıştır. S_5

risk türü ise, sıralamada en sonda yer alarak, önlem önceliği en düşük olan risk türü olarak belirlenmiştir.

S_8 risk türü, üretim sürecinde, üründe boyut olarak hem daralma hem kısalmaya sebebiyet verecek olan bir risk türüdür. Bu riskin ortaya çıkması durumunda, kateter boyut değişim oranına göre, tedavi etkin olarak ve/veya hiç gerçekleştirilemeyebilir. Boy olarak tolerans aralıkları, bitmiş ürün tolerans aralıkları dışında olduğunda, kateter tedavi bölgesine erişim sağlayamaz böylelikle, tedavi gerçekleştirilemez. Çap olarak tolerans aralıkları, bitmiş ürün tolerans aralıkları dışında olduğunda, infüze edilecek terapötik sıvı gereğinden az ve/veya fazla giderek, bölgede yetersiz tedaviye ya da bölgede oluşacak fazla ilaç nedeniyle damarda hasara yol açabilir. S_8 risk türü, ürün performansını operasyon sırasında doğrudan etkilediği için öncelikli olarak önlenmesi gereken risk türü şeklinde ortaya çıkması mantıklıdır. Bu risk türünün önlenmesi için, üretim sonu kalite kontrol faaliyetlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi önem taşımaktadır. Mümkünse, üretimi tamamlanan her bir kateter, söz konusu özellikleri açısından ölçülmeli ya da yüksek miktarda örnek alınarak, temsili ölçümler yapılmalıdır. S_5 risk türü ise, ürünün hasta girişimini etkileyen bir risk türüdür. Bu risk ile karşılaşıldığında, operasyon başlamadan biter. Bu ürünün fark edilmeden kullanılması veya konusunda uzman olmayan biri tarafından kullanılması sonucunda, hastanın girişim bölgesinde doku hasarına sebebiyet verir. S_8 risk türü, operasyon sırasında ürün performansına göre anlaşılırken, S_5 risk türü ürün hastaya uygulanmadan önceki basamakta dikkatli bir şekilde incelendiğinde doktor tarafından veya ilk hastaya girişim yapılması istendiği anda, bölgede zorlanma yaşandığında anlaşılabilirdiğinden ürün geri dönüş sayısı bu risk türü için daha fazladır. S_5 risk türünün engellenmesi için girişimi yapacak olan doktorun muhakkak kullanacağı kateteri uygunluk açısından incelemesi gereklidir. S_8 risk türünün önlenmesi için firma bünyesinde, risk türünü doğrudan ilgilendiren proses için, sistem ve bu sistemde bulunan ekipman, cihaz için kalibrasyon, doğrulama ve validasyon çalışmalarının tekrar yenilenmesi gereklidir.

4. Sonuç

Tıbbi cihazlarda risk değerlendirmesi, direkt olarak insan sağlığını etkilediği için çok önemli bir yere sahiptir. Etkin bir şekilde risk değerlendirmesi yapılmadığı takdirde, başta hasta olmak üzere, kullanıcı ve çevre için ciddi sorunlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle, bu sürecin titizlik ile yürütülerek; ürünün hastaya ve kullanıcıya arz edilmesinde, risk seviyesinin olabildiğince en alt seviyelere indirgenmesi gerekir.

Çalışmada, tromboliz kateter üretim sürecindeki risklerin, ürün tasarım sürecinden uygulama sürecine kadar, farklı aşamalarda çalışan uzmanların görüşlerine dayanarak ve farklı kriterlerin dikkate alınmasıyla önceliklendirmesini sağlamak ve bu önceliklendirmeye göre, firma bünyesinde iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu sıralamanın elde edilebilmesi için, ÇKKV yöntemlerinden birisi olan KEMIRA-M yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesi ile nitel ve nicel risk kriterleri aynı anda dikkate alınabilmiş ve uzman görüşleri de sürece dahil edilebilmiştir. Böylece, risk türleri, ISO 14971 standartında olduğu gibi, sadece olasılık ve şiddet kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmemiş, daha fazla sayıda kriter eşliğinde analiz yapılmıştır. Yine, KEMIRA-M yöntemi ile yapısal açıdan benzerlik gösteren kriterler aynı

gruplar içerisinde ayrı ayrı değerlendirilebilmiştir. Bu kriterler, ürün yaşam döngüsünün farklı aşamalarında görev alan uzmanlar tarafından önceliklendirilerek risk türleri sıralanmıştır.

Tıbbi cihaz üretimi gerçekleştirilen firmalarda, karar verme süreçlerinde ürün performansı ve güvenilirliğini etkileyen, firma açısından önem seviyesi oldukça yüksek kararlar verilirken, ürün yaşam döngüsü sürecinde, farklı aşamalarda çalışan uzmanların görüşlerine yer verilmelidir. Tücrübelerin ve uygulamaların

aktarılması, uyulması gereken standartlar ile birleştirildiğinde ortaya çıkacak olan ürün güvenilirliği ve performans artışında önemli rol almaktadır. Tıbbi cihazlar gibi, insan hayatını direkt etkileyen konularla ilgili karar süreçlerinde muhakkak bu çalışmada olduğu gibi, bilimsel yöntemlerden yararlanılmalıdır.

Gelecek dönem çalışmalarında, KEMIRA-M yöntemi dışında başka bir yöntem ile tromboliz kateter üretim sürecindeki risk türleri önceliklendirilerek ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılabilir.

Tablo 10. Tüm olası ağırlıklar için $F(X, Y)$ değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1 ¹	12	13	14
1	3,940	3,925	3,886	3,909	3,894	3,433	3,879	3,415	2,956	3,863	3,402	2,940	2,925	2,463
2	3,698	3,683	3,645	3,667	3,652	3,191	3,637	3,175	2,714	3,622	3,160	2,699	2,683	2,222
3	3,457	3,441	3,403	3,426	3,410	3,949	3,395	2,934	2,472	3,380	2,918	2,457	2,441	1,980
4	3,702	3,686	3,648	3,671	3,656	3,194	3,640	3,179	2,717	3,625	3,163	2,702	2,686	2,225
5	3,215	3,199	3,161	3,184	3,169	2,707	3,153	2,692	2,275	3,138	2,676	2,260	2,244	1,859
6	3,456	3,445	3,406	3,429	3,414	2,952	3,398	2,937	2,475	3,383	2,922	2,460	2,445	1,983
7	3,663	3,648	3,609	3,632	3,617	3,156	3,602	3,140	2,679	3,586	3,125	2,663	2,648	2,187
8	3,127	3,040	3,001	3,024	3,009	2,624	2,993	2,609	2,224	2,978	2,593	2,209	2,193	1,909
9	3,290	3,2027	3,164	3,187	3,172	2,710	3,157	2,695	2,276	3,141	2,680	2,261	2,245	1,943
10	3,535	3,448	3,409	3,433	3,417	2,956	3,402	2,940	2,479	3,386	2,925	2,463	2,448	2,052
11	3,421	3,406	3,369	3,391	3,375	2,914	3,360	2,898	2,437	3,345	2,883	2,421	2,406	1,945
12	3,270	3,131	3,093	2,993	3,959	2,574	2,943	2,559	2,271	2,928	2,543	2,256	2,240	1,979
13	3,321	3,183	3,145	3,045	3,010	2,626	2,995	2,610	2,306	2,980	2,595	2,290	2,275	2,014
14	3,486	3,348	3,310	3,210	3,175	2,714	3,160	2,698	2,340	3,145	2,683	2,325	2,310	2,048
15	3,301	3,164	3,126	3,149	3,130	2,685	3,118	2,670	2,285	3,103	2,654	2,261	2,254	1,938
16	3,546	3,409	3,371	3,394	3,379	2,917	3,363	2,902	2,440	3,348	2,886	2,425	2,409	1,999
17	3,516	3,378	3,339	3,239	3,101	2,777	2,996	2,672	2,411	2,981	2,657	2,395	2,380	2,121
18	3,380	3,241	3,203	3,103	3,019	2,635	3,004	2,619	2,301	2,988	2,604	2,285	2,270	2,008
19	3,618	3,544	3,506	3,406	3,268	2,849	3,163	2,745	2,445	3,148	2,730	2,430	2,415	2,153
20	3,497	3,359	3,320	3,220	3,137	2,686	3,121	2,671	2,335	3,106	2,656	2,320	2,305	2,0380
21	3,556	3,418	3,379	3,355	3,340	2,879	3,325	2,863	2,402	3,309	2,848	2,386	2,371	1,967
22	3,694	3,555	3,517	3,417	3,278	2,855	3,140	2,717	2,455	3,109	2,686	2,425	2,409	2,138
23	3,508	3,369	3,331	3,231	3,098	2,695	3,083	2,680	2,330	3,068	2,665	2,315	2,2100	2,038
En Küçük Değer	3,127	3,131	3,001	2,993	3,009	2,540	2,943	2,559	2,224	2,928	2,543	2,209	2,193	1,859

Kaynakça

Sarıçalı, G., & Kundakçı, N. (2017). Forklift alternatiflerinin kemira-m yöntemi ile değerlendirilmesi. *Optimum Journal of Economics & Management Sciences/Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 4(1), 35-53.

Toktaş, P., & Can, G. F. (2018). Şantiyelerin iş sağlığı ve güvenliği açısından risk düzeylerine göre KEMIRA-M yöntemi ile sıralanması. *Ergonomi*, 1(3), 123-136. doi: <https://doi.org/10.33439/ergonomi.480397>

World Health Organization. (2007). Study results released on travel and blood clots-WHO project finds VTE risk higher after long travel, but still relatively low., <https://www.who.int/news/item/29-06-2007-study-results-released-on-travel-and-blood-clots>.

Market Research Report, Future Market Insights. (2020). Catheter-directed thrombolysis market: global industry analysis 2012-2016 and opportunity assessment. [futuremarketinsights.com, https://www.futuremarketinsights.com/reports/catheter-directed-thrombolysis-market](https://www.futuremarketinsights.com/reports/catheter-directed-thrombolysis-market).

Kirkire, M. S., Rane, S. B. & Jadhav, J. R. (2015). Risk management in medical product development process using traditional FMEA and fuzzy linguistic approach: a case study. *Journal of Industrial Engineering International*, 11(4), 595-611.

Wang, L., Hu, Y. P., Liu, H. C., & Shi, H. A. (2019). Linguistic risk prioritization approach for failure mode and effects analysis: A case study of medical product development. *Quality and Reliability Engineering International*, 35(6), 1735-1752.

Kirkire, M. S., Rane, S. B., & Singh, S. P. (2018). Integrated SEM-FTOPSIS framework for modeling and prioritization of risk sources in medical device development process. *Benchmarking: An International Journal*, 25(1), 178-200.

Lin, Q. L., Wang, D. J., Lin, W. G., & Liu, H. C. (2014). Human reliability assessment for medical devices based on failure mode and effects analysis and fuzzy linguistic theory. *Safety Science*, 62, 248-256.

Krylovas, A., Zavadskas, E. K. & Kosareva, N. (2016). Multiple criteria decision-making KEMIRA-M method for solution of location alternatives. *Economic Research*, 29(1), 50-65, 2016. doi: 10.1080/1331677X.2016.1152560

Sarıçalı, G. (2018). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS yöntemlerinin mermer işletmesinde makine seçim sürecine uygulanması. Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Kış, Ö., Can, G. F., & Toktaş, P. (2019). Warehouse location selection for an electricity distribution company by KEMIRA-M method. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 227-240. doi: 10.5505/pajes.2019.98354

Toktaş, P. & Can, G. F. (2019). Stochastic KEMIRA-M approach with consistent weightings. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 18(03), 793-831. doi: 10.1142/S0219622019500123

Delice, E. K. & Can, G. F. (2020). A new approach for ergonomic risk assessment integrating KEMIRA, BEST-WORST and MCDM methods. *Soft Computing*, 24(19), 15093-15110.

Arslan, N. (2020). HTEA tabanlı FUCOM & KEMIRA-M entegre yöntemi ile sağlık sektöründe risk değerlendirme. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Delice, E. K., & Arslan, N. (2020). KEMIRA-M yöntemi ile kişisel kullanıcılar için dron seçimi: bir uygulama. *Endüstri Mühendisliği*, 31(2), 159-179.

TS EN ISO 14971. (2020). <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119099084054080084084120085107070047086066070083065051104068066120103>.



On waiting time distribution of runs in a Fibonacci and Lucas sequences

Abd Anasir Edabaa^{1*}, Goksal Bilgici²

^{1*} Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, Kastamonu, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5329-5365), edabaaabdanasir@yahoo.com

² Kastamonu Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Anabilim Dalı, Kastamonu, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9964-5578), gbilgici@kastamonu.edu.tr

(First received 15 September 2020 and in final form 3 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.782790)

ATIF/REFERENCE: Edabaa, A. A. & Bilgici, G. (2021). On waiting time distribution of runs in a Fibonacci and Lucas sequences. *European Journal of Science and Technology*, (25), 774-781.

Abstract

There is an increasingly needed to development a new mathematical apparatus concerned with the description, prediction, and understanding of natural phenomena in a precise manner. The purpose of this study is to extend the mathematical framework of Fibonacci and Lucas sequences for underpinned and establishing a modern mathematical formulas. For this purpose, we derive analytical formulas of order k-Fibonacci and order k-Lucas sequences simultaneously based on Bernoulli sequence. Furthermore, exploiting a relationship with the k th order Fibonacci and Lucas sequence, we study the probability distribution function (pdf) of the waiting time (W (k)).

Keywords: Bernoulli trials, Order k - Fibonacci sequence, Order k -Lucas sequence.

Bir Fibonacci ve Lucas dizisinde tekrarların bekleme süresi üzerine

Öz

Doğal fenomenlerin kesin bir manada tanımlanması, öngörülmesi ve anlaşılmasıyla ilgili yeni matematiksel aygıtlar geliştirme ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Fibonacci ve Lucas dizilerinin matematiksel çerçevesini modern matematiksel formüller ile desteklemek amacıyla genişletmektir. Bu amaçla, order-k Fibonacci ve order-k Lucas dizileri ile eş zamanlı olarak Bernoulli dizisine dayanarak analitik formüllerin türetilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, k-yıncı mertebeden Fibonacci ve Lucas dizileri arasındaki bir ilişkiden yararlanarak (W (k)) bekleme süresinin olasılık dağılım fonksiyonu (pdf) çalışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bernoulli denemeleri, k-mertebeli Fibonacci dizisi, k-mertebeli Lucas dizisi.

* Corresponding Author: xxxx@xxx.xx.xx

1. Introduction

In Bernoulli trials, there is a series of results about distribution theories on runs (Greenberg, 1970; Klots & Park, 1972; Saperstein, 1973; Koutras, 1996, 1997; Chaves & de Souza, 2007; Aki & Hirano, 2007; Kim,S et al,2013). KOUTRAS (1996) investigated the exact distribution of the waiting time in a sequence of independent and identically distributed (iid) Bernoulli trials. Formulae are provided for terms of certain generalized Fibonacci numbers and polynomials are also included. Chaves et al., (2007) used j-step Fibonacci numbers to derive the expected value and the variance for the distribution of the waiting time for n consecutive successes in a Bernoulli sequences. Singh et al., (2014) presented some generalized identities on the products of k-Fibonacci and k-Lucas numbers to establish connection formulas between them with the help of Binet's formula. Kim,S et al, (2013) derived probability distribution of W(k) for both independent and homogeneous two-state Markovian Bernoulli trials, using a generalized Fibonacci sequence of order k. Öcal, A el al, (2005) give some determinantal and permanental representations of k-generalized Fibonacci and Lucas numbers and obtained the Binet's formula for these sequences.

There can be many applications: Bernoulli trials to get a cluster of positive or negative response on certain treatment to a DNA sequence. A sequence of n Bernoulli trials contains as many runs of length k as there are non-overlapping uninterrupted succession of exactly k 1's or 0's.

We will follow the same previous methodology, but our ideas are completely different. That mean we are trying to derive a new formula for order k-Fibonacci and order k- Lucas sequences through sequences of Bernoulli trials.

In this work, we study the sequence of Bernoulli trials under some conditions and exploiting a relationship with the Fibonacci and Lucas sequences.

2. Sequence of Bernoulli trials

We will start a sequence of Bernoulli trials of size n by toss a coin n times, and obtaining a sequence i ones consecutive on the nth trial at the end of sequence with less than i zeros or ones consecutive previously where $i \geq 2$.

Let $s_n^{(i)}$ denote the number of cases where a sequence of i ones consecutive on the nth trial at the end of sequence with less than i zeros or ones consecutive previously.

To derive the value of $s_n^{(i)}$ we note that:

Case 2.1 When i = 2

The sequence as shown in table 1.

Table 1: Sequence of Bernoulli when i=2

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$s_n^{(2)}$	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

We can see comparing the previous values of $s_{n-2}^{(2)}$ with those values of $F_n^{(1)}$ shown in table 2. This shows that $s_{n-2}^{(2)} = F_n^{(1)}$.

Lemma 2.1. The number of $s_n^{(2)}$ where $n \geq i$, "i.e. sequences", follows the Fibonacci sequence of order 1.

A proof is easily established by table 1 that all the number of $s_n^{(2)}$ is equal to 1.

2.1.1. Probability distribution function of $W_n^{(i)}$

Let define independent Bernoulli variables x_i , with $p(x_i = 1) = p$ and, $p(x_i = 0) = q$.

2.1 Definition(1) : For any two probabilities Z and D, let's define them by two equations.

$$Z_n = qD_{n-1} \text{ and } D_n = pZ_{n-1} \text{ for } n = 2,3,4,5, \dots$$

with $Z_1 = 1, D_1 = 1$.

The new formula for either consecutive k ones or k zeros for the first time at end sequence with less than k ones or k zeros before.

We are derivation of pdf of F_n^1 is as follows.

Theorem (1). For $n = 2$, the pdf of F_n^1 is

$$P(F_{n-1}^1 = n) = \begin{cases} 0 & n < 2 \\ (p^2 + q^2)(pq)^{\frac{n-2}{2}} & \text{if } (n > 1) \text{ is an even number} \\ (pq)^{\frac{n-1}{2}} & \text{if } (n > 2) \text{ is an odd number} \end{cases}$$

Proof.

$$p(F_1^1 = 2) = pp + qq = p^2 + q^2$$

$$p(F_2^1 = 3) = qp^2 + pq^2 = pq$$

$$p(F_3^1 = 4) = pq(p^2 + q^2)$$

$$p(F_4^1 = 5) = qpq(p^2 + q^2) = (pq)^2$$

$$p(F_5^1 = 6) = p^2q^2(p^2 + q^2)$$

$$p(F_6^1 = 7) = qpqpq(p^2 + q^2) = (pq)^3$$

$$(p^2 + q^2)(pq)^{\frac{n-2}{2}} \text{ if } (n > 1) \text{ is an even number}$$

$$(pq)^{\frac{n-1}{2}} \text{ if } (n > 2) \text{ is an odd number}$$

Case 2.2. When $i = 3$

The sequence as shown in the following Table 2.

Table 2: Sequence of Bernoulli when i=3

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$s_n^{(3)}$	0	0	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55

From table 2, We define the second order recurrence relations

$$s_n^{(3)} = s_{n-1}^{(3)} + s_{n-2}^{(3)} \quad n \geq 5 \tag{2.1}$$

With the initial conditions

$$s_1^{(3)} = 0, s_2^{(3)} = 0, s_3^{(3)} = 1, s_4^{(3)} = 1$$

2.2. Definition 2 For any four real numbers a_0, a_1, b_0 and b_1 , the sequences $\{w_n^{(2)}\}_{n=0}^\infty$ is defined recursively by

$$w_n^{(2)} = \begin{cases} b_0 s_{n+1}^{(3)} + b_1 s_{n+2}^{(3)} & n \geq 2 \end{cases}$$

where $w_0^{(2)} = a_0, w_1^{(2)} = a_1$ (2.2)

where $s_n^{(3)}$ is above definition.

Special cases When

1) $a_0 = 1, a_1 = 1, b_0 = 1, b_1 = 1$

than $\{w_n^{(2)}\}_{n=0}^\infty$ is Fibonacci sequence

2) $a_0 = 2, a_1 = 1, b_0 = 2, b_1 = 1$

than $\{w_n^{(2)}\}_{n=0}^\infty$ is Lucas sequence

Notes. We can see comparing the previous values of $s_{n-3}^{(3)}$ with those values of F_n^2 shown in table 2. This shows that $s_{n+3}^{(3)} = F_n^2$.

Theorem 2 The sequences $\{w_n^{(2)}\}_{n=0}^\infty$ satisfy following

1 - $L_n = 2F_{n-2} + F_{n-1}$ (2.3)

2 - $L_n = F_{n-2} + F_n$ (2.4)

3 - $L_n = 2F_n - F_{n-1}$ (2.5)

4 - $L_n = 2F_{n+1} - 3F_{n-1}$ (2.6)

Proof.

1) $L_n^{(2)} = 2S_{n+1}^3 + S_{n+2}^3$

We know $S_{n+3}^3 = F_n^2$ then $L_n^2 = 2F_{n-2}^2 + F_{n-1}^2$.

2) $L_n^{(2)} = 2S_{n+1}^3 + S_{n+2}^3 = S_{n+1}^3 + (S_{n+1}^3 + S_{n+2}^3)$
 $= S_{n+1}^3 + S_{n+3}^3 \rightarrow L_n^2 = F_{n-2}^2 + F_n^2$.

3) $L_n^{(2)} = 2S_{n+1}^3 + S_{n+2}^3 = 2(S_{n+3}^3 - S_{n+2}^3) + S_{n+2}^3$
 $= 2S_{n+3}^3 - S_{n+2}^3 \rightarrow L_n^2 = 2F_n^2 - F_{n-1}^2$.

4) $L_n^{(2)} = 2S_{n+1}^3 + S_{n+2}^3 = 2S_{n+3}^3 - 2S_{n+2}^3 + S_{n+2}^3$
 $= 2S_{n+4}^3 - 2S_{n+2}^3 - S_{n+2}^3 = 2S_{n+4}^3 - 3S_{n+2}^3$
 $= 2F_{n+1}^{(2)} - 3F_{n-1}^{(2)}$.

Theorem 3 The generating function of sequence $\{w_n^{(2)}\}_{n=0}^\infty$ is given by

$$D(x) = \sum_{n=0}^\infty w_n x^n$$

$$= \frac{a_0 + (a_1 - a_0)x + (b_0 + b_1 - a_0 - a_1)x^2 + (b_1 - a_1)x^3}{1 - x - x^2}$$

Special cases

1 - When $a_0 = 1, a_1 = 1, b_0 = 1, b_1 = 1$

$$D(x) = \frac{1}{1 - x - x^2}$$

is generating function of Fibonacci sequence.

2 - When $a_0 = 2, a_1 = 1, b_0 = 2, b_1 = 1$

$D(x) = \frac{2 - x}{1 - x - x^2}$ is generating function of Lucas sequence.

2.1.2 The distribution of order 2 -Fibonacci and Lucas

We use only elementary facts about Fibonacci and Lucas numbers to derive the waiting time for n consecutive successes in Bernoulli sequences. In the case of the Bernoulli parameter $p = \frac{1}{2}$ the exact distribution is obtained.

Let $W_n^{(2)}$ be the random variable determined by the number for a run of j consecutive successes in a Bernoulli experiment, as defined in the preliminaries. The exact distribution of $W_n^{(2)}$ seems to be intractable, except for $p = \frac{1}{2}$. In this case, every equal length sequence has the same probability and the distribution of $W_n^{(2)}$ is nicely given:

2.1.3 The distribution of $W_n^{(2)}$

The distribution of $W_n^{(2)}$ is nicely given by:

$$P(W_{n-2}^{(2)} = n) = \begin{cases} 0 & n < 2 \\ W_{n-2}^{(2)} \left(\frac{1}{2}\right)^{n+i} & n = 2,3,4,5, \dots \\ 0 & O.W \end{cases}$$

There are two cases depends on $W_n^{(2)}$ and i:

The first case: Where $w_0^{(2)} = 1, w_1^{(2)} = 1,$

$$w_n^{(2)} = \begin{cases} s_{n+1}^{(3)} + s_{n+2}^{(3)} & n \geq 2 \end{cases} \text{ and } i=0$$
 Then

$$P(W_{n-2}^{(2)} = n) = \begin{cases} 0 & n < 2 \\ W_{n-2}^{(2)} \left(\frac{1}{2}\right)^n & n = 2,3,4,5, \dots \\ 0 & O.W \end{cases}$$

This distribution is Fibonacci distribution.

And we can rewrite the distribution of $W_n^{(2)}$ as

$$P(W_{n-2}^{(2)} = n) = \begin{cases} 0 & n < 2 \\ F_{n-2}^{(2)} \left(\frac{1}{2}\right)^n & n = 2,3,4,5, \dots \\ 0 & O.W \end{cases}$$

This distribution as Shane(1973) defined.

The second case: Where $w_0^{(2)} = 1, w_1^{(2)} = 3,$

$$w_n^{(2)} = \begin{cases} 2s_{n+1}^{(3)} + s_{n+2}^{(3)} & n \geq 2 \end{cases}, \text{ and } i=1$$

This distribution as Lucas distribution.

And we can rewrite the distribution of $W_n^{(2)}$ as

$$P(W_{n-2}^{(2)} = n) = \begin{cases} 0 & n < 2 \\ L_{n-1}^{(2)} \left(\frac{1}{2}\right)^{n+1} & n = 2,3,4,5, \dots \\ 0 & O.W \end{cases}$$

The distribution of $W_n^{(2)}$ can called distribution of waiting time. And The Fibonacci and Lucas numbers allow the calculation of the probability distribution function for waiting time for a run of n successes in a sequence of Bernoulli trials. Obtained the closed form for the Fibonacci and Lucas numbers.

2.1.4 Probability distribution function of $W_n^{(t)}$

2.3 Definition(3) : For any two probabilities Z and D, let's define them by two equations

$$Z_n = qD_{n-1} + q^2D_{n-2} \text{ and } D_n = pZ_{n-1} + p^2Z_{n-2} \text{ for } n = 3,4,5, \dots$$

with $Z_1 = 1, Z_2 = q, D_1 = 1, D_2 = p$

The pdf of F_n^2 is given using the above definition.

Theorem (4). For $n = 3$, the pdf of F_{n-2}^2 is

$$P(F_{n-2}^2 = n) = \{Z_{n-2}p^3 + D_{n-2}q^3\}$$

where $Z_n = qD_{n-1} + q^2D_{n-2}$

$$D_n = pZ_{n-1} + p^2Z_{n-2} \text{ for } n = 3,4,5 \dots \dots \text{with } Z_1 = 1, Z_2 = q$$

$$D_1 = 1 \text{ and } D_2 = p.$$

Proof. First, note that

$$P(F_1^2 = 3) = ppp + qq q = p^3 + q^3 = Z_1p^3 + D_1q^3$$

$$P(F_2^2 = 4) = qppp + pqqq = qp^3 + pq^3 = Z_2p^3 + D_2q^3$$

$$P(F_3^2 = 5) = pqp^3 + qqp^3 + qpq^3 + ppq^3 = Z_3p^3 + D_3q^3 \text{ where}$$

$$Z_3 = qD_2 + q^2D_1 = pq + qq \text{ and } D_3 = pZ_2 + p^2Z_1 = pq + pp$$

$$P(F_4^2 = 6) = pqqp^3 + qpqp^3 + ppqp^3 + qppq^3 + pqpq^3 + qppq^3$$

$$= 2q^2p^4 + qp^5 + 2p^2q^4 + pq^5$$

where $Z_4 = qD_3 + q^2D_2 = qpq + ppq + pqq = 2pq^2 + qp^2$ and

$$D_4 = pZ_3 + p^2Z_2 = ppq + pqq + ppq = 2qp^2 + pq^2.$$

$P(F_{n-2}^{(2)} = n) = \{Z_{n-2}p^3 + D_{n-2}q^3\}$ This result as Kim, S., Park, C., & Oh, J. (2013) defined.

2.4 Definition(4) : For any two probabilities z and D, let's define them by two equations

$$Z_n = qD_{n-1} + q^2D_{n-2} \text{ and } D_n = pZ_{n-1} + p^2Z_{n-2} \text{ for } n = 3,4,5, \dots$$

with $Z_1 = 1, Z_2 = (q + 1), D_1 = 1, D_2 = (p + 1)$

The pdf of $L_n^{(2)}$ is given using the above definition.

Theorem (5). For $n = 3$, the pdf of $L_{n-2}^{(2)}$ is

$$P(L_{n-2}^{(2)} = n) = Z_{n-2}p^3 \text{ where}$$

$$Z_n = qD_{n-1} + q^2D_{n-2} \text{ and } D_n = pZ_{n-1} + p^2Z_{n-2}$$

for $n = 3,4,5, \dots$

with $Z_1 = 1, Z_2 = (q + 1), D_1 = 1, D_2 = (p + 1).$

Proof. First, note that

$$P(L_1^{(2)} = 3) = Z_1p^3 = ppp,$$

$$P(L_2^{(2)} = 4) = Z_2p^3 = p^3(q + 1) = qppp + ppp$$

$$Z_3 = qD_2 + q^2D_1 = qp + q + q^2, D_3 = pZ_2 + p^2Z_1 = pq + p + p^2$$

$$P(L_3^{(2)} = 5) = Z_3p^3 = pqppp + qppp + qpppp$$

$$Z_4 = qD_3 + q^2D_2 = qpq + qp + qp^2 + pq^2 + q^2,$$

$$D_4 = pZ_3 + p^2Z_2 = ppq + pq + pq^2 + qp^2 + p^2$$

$$P(L_4^{(2)} = 6) = Z_4p^3 = qpqp^3 + qpp^3 + qp^2p^3 + pq^2p^3 + q^2p^3$$

.

.

$$P(L_{n-2}^{(2)} = n) = Z_{n-2}p^3$$

Some numerical examples:

The pdf of W_n^i for a special case of $p = \frac{1}{2}$ is obtained numerically, using $F_{n-2}^1, F_{n-2}^2, L_{n-2}^2$.

1- For n=2

$$P(F_0^1 = 2) = pp + qq = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} = F_0^1 \left(\frac{1}{2}\right)^1$$

$$P(F_1^1 = 3) = qpp + pqq = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4} = F_1^1 \left(\frac{1}{2}\right)^2$$

$$P(F_2^1 = 4) = pqpp + qpqq = \frac{1}{16} + \frac{1}{16} = \frac{1}{8} = F_2^1 \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

.

$$P(F_{n-2}^1 = n) = \dots pqppqpqp + \dots qpqpqpqq = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = F_{n-2}^1 \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$$

where $F_{n-2}^1 = 1, n = 2,3,4, \dots$

2- For n = 3 and $W_n^2 = F_{n-2}^2$

$$P(F_1^2 = 3) = ppp + qq q = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4} = F_1^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2$$

$$P(F_2^2 = 4) = qp^3 + p q^3 = \frac{1}{16} + \frac{1}{16} = \frac{1}{8} = F_2^2 \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

$$P(F_3^2 = 5) = pqp^3 + qpq^3 + ppq^3 + ppp^3$$

$$= \frac{1}{32} + \frac{1}{32} + \frac{1}{32} + \frac{1}{32} = \frac{1}{8} = \frac{2}{16} = F_3^2 \left(\frac{1}{2}\right)^4$$

$$P(F_4^2 = 6) = 2q^2p^4 + qp^5 + 2p^2q^4 + pq^5$$

$$= \frac{2}{64} + \frac{1}{64} + \frac{2}{64} + \frac{1}{64} = \frac{3}{32} = F_4^2 \left(\frac{1}{2}\right)^5$$

$$P(F_{n-2}^2 = n) = F_{n-2}^2 \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} \text{ where } F_{n-2}^2 = (1,1,2,3,5,8,13, \dots)$$

And the sum over all F_{n-2}^1 and F_{n-2}^2 are equal to 1 that are

$$\sum_{n=2}^{\infty} F_{n-2}^1 \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = 1 \text{ and } \sum_{n=3}^{\infty} F_{n-2}^2 \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = 1.$$

1- For $n = 3$ and $W_n^2 = L_{n-2}^2$

$$P(L_1^2 = 3) = ppp = \frac{1}{8} = L_1^2 \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

$$P(L_2^2 = 4) = ppp + qppp = \frac{1}{8} + \frac{1}{16} = \frac{3}{16} = L_2^2 \left(\frac{1}{2}\right)^4$$

$$P(L_3^2 = 5) = pqp^3 + qp^3p + qp^3q = \frac{1}{32} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} = \frac{4}{32}$$

$$= L_3^2 \left(\frac{1}{2}\right)^5$$

$$P(L_4^2 = 6) = 2q^2p^4 + qp^4 + qp^5 + q^2p^3$$

$$= \frac{2}{64} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{32} = \frac{7}{64} = L_4^2 \left(\frac{1}{2}\right)^6$$

$$P(L_{n-2}^2 = n) = L_{n-2}^2 \left(\frac{1}{2}\right)^n \text{ where } L_i^2 = (1,3,4,7,11,18,29, \dots)$$

And the sum over all L_{n-2}^2 is equal to 1 that

$$\sum_{n=3}^{\infty} L_{n-2}^2 \left(\frac{1}{2}\right)^n = 1$$

2.2. Distribution function of W_n^i for either consecutive k ones or k zeros for the first time in a two state Markovian trial

Let's define a sequence of Markov dependent Bernoulli variables x_i , with $P(x_i = 1) = p, P(x_i = 0) = q$ and with Markov dependence as following: $P(x_{i+1} = 1 \setminus x_i = 1) = a$ and $P(x_{i+1} = 0 \setminus x_i = 0) = b$

2.2.1 Probability distribution function of F_n^1

Theorem (6). the probability distribution function of F_n^1 is

$$P(F_{n-2}^1 = n) = \begin{cases} 0 & n < 2 \\ [(1-a)(1-b)]^{\frac{n-2}{2}} (pa + qb) & n \text{ is even} \\ [(1-a)(1-b)]^{\frac{n-3}{2}} (q(1-b)a + p(1-a)b) & n \text{ is odd} \end{cases}$$

Proof. Starting with

$$P(F_0^1 = 2) = pp + qq = pa + qb$$

$$P(F_1^1 = 3) = qpp + pqq = q(1-b)a + p(1-a)q$$

$$P(F_2^1 = 4) = pqpp + qpqq$$

$$= p(1-a)(1-b)a + q((1-b)(1-a)b$$

$$= [(1-a)(1-b)](pa + qb)$$

$$P(F_3^1 = 5) = qpqpp + pqpqq$$

$$= q(1-b)(1-a)(1-b)a$$

$$+ p(1-a)(1-b)(1-a)b$$

$$= [(1-a)(1-b)][q(1-b)a + p(1-a)b]$$

$$P(F_4^1 = 6) = pqpppp + qpqpqq$$

$$= p(1-a)(1-b)(1-a)(1-b)a +$$

$$q(1-b)(1-a)(1-b)(1-a)b$$

$$= [(1-a)(1-b)]^2 (pa + qb)$$

$$P(F_5^1 = 7) = qpqpqp + pqpqpqq$$

$$= q(1-b)(1-a)(1-b)(1-a)(1-b)a$$

$$+ p(1-a)(1-b)(1-a)(1-b)(1-a)b$$

$$= [(1-a)(1-b)]^2 [q(1-b)a + p(1-a)b]$$

2.2.2 Probability distribution function of L_n^2

Theorem (7). the probability distribution function of L_n^2 is

$$P(L_{n-2}^2 = n) = Z_{n-2}aa \quad n \geq 3 \quad \text{where } Z_n = (1-b)D_{n-1} + (1-b)bD_{n-2}$$

$$\text{and } D_n = (1-a)Z_{n-1} + (1-a)aZ_{n-2}$$

$$n = 3,4,5,6, \dots \text{ and}$$

$$Z_1 = p, Z_2 = q(1-b) + p, D_1 = q \text{ and } D_2 = p(1-a) + q$$

Proof. Starting with

$$(L_1^2 = 3) = \{111\} \rightarrow P(L_{n-2}^2 = 3) = ppp = paa = Z_1aa$$

$$(L_2^2 = 4) = \{111,0111\} \rightarrow P(L_2^2 = 4) = ppp + qp^3p$$

$$= paa + q(1-b)aa = Z_2aa$$

$$(L_3^2 = 5) = \{0111,00111,10111\} = qp^3p + qp^3pp + pqp^3p$$

$$= q(1-b)aa + qb(1-b)aa$$

$$+ p(1-a)(1-b)aa = Z_3aa \quad \text{Where } Z_3$$

$$= (1-b)D_2 + (1-b)bD_1$$

$$= p(1-b)(1-a) + q(1-b)$$

$$+ (1-b)bq$$

$$\begin{aligned}
 (L_4^2 = 6) &= \{00111, 10111, 100111 + 110111 + 010111\} \\
 &= qpppp + pqppp + pqppp + ppqppp \\
 &+ qpqppp \\
 &= qb(1-b)aa + p(1-a)(1-b)aa \\
 &+ p(1-a)b(1-b)aa \\
 &+ pa(1-a)(1-b)aa \\
 &+ q(1-b)(1-a)(1-b)aa \\
 &= Z_4aa \text{ where } Z_4 \\
 &= (1-b)D_3 + (1-b)bD_2 \\
 &= q(1-b)(1-a)(1-b) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p(1-a)(1-b) + ap(1-b)(1-a) + bp(1-b)(1-a) \\
 + qb(1-b)
 \end{aligned}$$

.

$$P(L_{n-2}^2 = n) = Z_{n-2}aa.$$

Case 2.3. When $i = 4$

The sequence as shown in Table 3.

Table 3: Sequence of Bernoulli when $i=4$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$S_n^{(4)}$	0	0	0	1	1	2	4	7	13	24	44	81	149

From table 3, We define the third order recurrence relations

$$s_n^{(4)} = s_{n-1}^{(4)} + s_{n-2}^{(4)} + s_{n-3}^{(4)} \quad n \geq 6 \quad (2.7)$$

with the initial conditions

$$s_1^{(4)} = 0, s_2^{(4)} = 0, s_3^{(4)} = 0, s_4^{(4)} = 1, s_5^{(4)} = 1.$$

2.5 Definition 5. For any six real numbers a_0, a_1, a_2, b_0, b_1 and b_2 , the sequences $\{w_n^{(3)}\}_{n=0}^\infty$ is defined recursively by

$$\begin{aligned}
 W_0^{(3)} &= a_0, w_1^{(3)} = a_1, w_2^{(3)} = a_2 \\
 W_n^{(3)} &= \sum_{k=0}^2 b_k S_{n+k-1}^{(4)} \quad n \geq 3 \quad (2.8)
 \end{aligned}$$

where $s_n^{(4)}$ is above definition.

Special cases.

$$1 - a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = 1, b_1 = 1 \text{ where } l = 0, 1, 2$$

$$\text{Then } W_0^{(3)} = 0, W_1^{(3)} = 0 \text{ and } W_2^{(3)} = 1$$

$$W_n^{(3)} = s_{n-1}^{(4)} + s_n^{(4)} + s_{n+1}^{(4)} \quad n \geq 3$$

$\{W_n^{(3)}\}_{n=0}^\infty$ is Tribonacci sequence

$$2 - a_0 = 3, a_1 = 1, a_2 = 3, b_0 = 3, b_1 = 4, b_2 = 7 \text{ then}$$

$$W_0^{(3)} = 3, W_1^{(3)} = 1 \text{ and } W_2^{(3)} = 3$$

$$W_n^{(3)} = 3s_{n-1}^{(4)} + 4s_n^{(4)} + 7s_{n+1}^{(4)} \quad n \geq 3$$

$\{W_n^{(3)}\}_{n=0}^\infty$ is Tribonacci – Lucas sequence

Notes: we can see comparing the previous values of $s_{n+3}^{(4)}$ with those values of $F_n^{(3)}$ shown in table 3. This shows that $s_{n+3}^{(4)} = F_n^{(3)}$

Theorem 8 The sequences $\{W_n^{(3)}\}_{n=0}^\infty$ satisfy following

$$1 - L_n^{(3)} = F_{n+1}^{(3)} + 2F_n^{(3)} + 3F_{n-1}^{(3)} \quad (2.9)$$

$$2 - L_n^{(3)} = 3F_{n+2}^{(3)} - 2F_{n+1}^{(3)} - F_n^{(3)} \quad (2.10)$$

$$3 - L_n^{(3)} = 2F_{n+2}^{(3)} - F_{n+1}^{(3)} + F_{n-1}^{(3)} \quad (2.11)$$

Proof.

$$1 - L_n^{(3)} = 3S_{n-1}^{(4)} + 4S_n^{(4)} + 7S_{n+1}^{(4)}$$

$$= 3(S_{n-1}^{(4)} + S_n^{(4)} + S_{n+1}^{(4)}) + S_n^{(4)} + 4S_{n+1}^{(4)}$$

$$= 3S_{n+2}^{(4)} + S_n^{(4)} + 4S_{n+1}^{(4)}$$

$$= 3S_{n+2}^{(4)} + S_{n+3}^{(4)} - S_{n+2}^{(4)} - S_{n+1}^{(4)} + 4S_{n+1}^{(4)}$$

$$= S_{n+3}^{(4)} + 2S_{n+2}^{(4)} + 3S_{n+1}^{(4)} \quad \text{where } s_{n+2}^{(4)} = F_n^{(3)} \text{ Then}$$

$$L_n^{(3)} = F_{n+1}^{(3)} + 2F_n^{(3)} + 3F_{n-1}^{(3)}$$

$$2 - L_n^{(3)} = 3S_{n-1}^{(4)} + 4S_n^{(4)} + 7S_{n+1}^{(4)} = 3S_{n+2}^{(4)} + S_n^{(4)} + 4S_{n+1}^{(4)}$$

$$= 3S_{n+2}^{(4)} + S_{n+3}^{(4)} - S_{n+2}^{(4)} + 3S_{n+4}^{(4)} - 3S_{n+3}^{(4)} - S_{n+2}^{(4)}$$

$$= 3S_{n+4}^{(4)} - 2S_{n+3}^{(4)} - S_{n+2}^{(4)} = 3F_{n+2}^{(3)} - 2F_{n+1}^{(3)} - F_n^{(3)}$$

$$3 - L_n^{(3)} = 3S_{n-1}^{(4)} + 4S_n^{(4)} + 7S_{n+1}^{(4)} = 3S_{n+2}^{(4)} + S_n^{(4)} + 4S_{n+1}^{(4)}$$

$$= 2S_{n+2}^{(4)} + S_{n+3}^{(4)} + 3S_{n+1}^{(4)} = 2S_{n+4}^{(4)} - S_{n+3}^{(4)} + S_{n+1}^{(4)}$$

$$L_n^{(3)} = 2F_{n+2}^{(3)} - F_{n+1}^{(3)} + F_{n-1}^{(3)}$$

Theorem 9 The generating function of sequence $\{W_n^{(3)}\}_{n=0}^\infty$ is given by.

$$\begin{aligned}
 D_{(x)} &= \sum_{n=0}^\infty w_n x^n \\
 &= \frac{a_0 + (a_1 - a_0)x + (a_2 - a_1 - a_0)x^2 + (b_2 - a_2 - a_1 - a_0)x^3}{1 - x - x^2 - x^3} \\
 &+ \frac{(b_1 - a_2 - a_1)x^4 + (b_0 - a_2)x^5}{1 - x - x^2 - x^3}
 \end{aligned}$$

Special cases.

$$1 - \text{When } a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = 1, b_1 = 1 \text{ where } l = 0, 1, 2$$

$$\text{then } D_x = \sum_{n=0}^\infty W_n^{(3)} x^n = \frac{x^2}{1 - x - x^2 - x^3}.$$

D_x is generating function of Tribonacci

$$2 - \text{when } a_0 = 3, a_1 = 1, a_2 = 3, b_0 = 3, b_1 = 4, b_2 = 7$$

$$\text{then } D_{(x)} = \sum_{n=0}^\infty w_n x^n = \frac{3 - 2x - x^2}{1 - x - x^2 - x^3}.$$

$D_{(x)}$ is generating function of Tribonacci – Lucas

Case 2.4. When $i \geq 5$

The sequence as shown in Table 4.

Table 4: Sequence of Bernoulli when $i \geq 5$

n	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$S_n^{(5)}$	1	1	2	4	8	15	29	56	108	208	401	773	1490	2872	5536
$S_n^{(6)}$	0	1	1	2	4	8	16	31	61	120	236	464	912	1793	3525
$S_n^{(7)}$	0	0	1	1	2	4	8	16	32	63	125	248	492	976	1936
$S_n^{(8)}$	0	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	127	253	504	1004
$S_n^{(9)}$	0	0	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	255	509
$S_n^{(10)}$	0	0	0	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256

From table 4, $S_n^{(i)} = \sum_{k=1}^{i-1} S_{n-k}^{(i)}$ $n \geq i + 2$ (2.12)

with the initial conditions

$S_n^{(i)} = 0, n = 1, 2, \dots, i - 1, S_i^{(i)} = S_{i+1}^{(i)} = 1$

We can see comparing the previous values of $S_{n+3}^{(i+1)}$ with those values of $F_n^{(i)}$ shown in table 4. This shows that $S_{n+3}^{(i+1)} = F_n^{(i)}$

Then $F_n^{(i)} = \sum_{k=1}^{i-1} F_{n-k}^{(i)}, n \geq i$ and $F_n^{(i)} = 0, n = 1, 2, \dots, i - 3, F_{i-1}^{(i)} = F_{i-2}^{(i)} = 1.$

2.6 Definition 6 For any real numbers a_i and b_i the sequences $\{W_n^{(i)}\}_{n=0}^\infty$ is defined recursively by

$W_n^{(i)} = \sum_{k=2}^{i+1} b_{i-k+1} S_{n+(-1)^m(k-i)}^{(i+1)}, n \geq i,$
 $W_j^{(i)} = a_j, j = 0, 1, \dots, i - 1$ (2.13)

$b_j, j = 0, 1, \dots, i - 1$

where $S_n^{(i)}$ is above definition.

Special cases.

1 – When $a_j = 0$ where $j = 0, 1, \dots, i - 2, a_{i-1} = 1,$

$b_j = 1, j = 0, 1, \dots, i - 1, m = 2$ Then

$W_j^{(i)} = 0, j = 0, 1, \dots, i - 2, W_{i-1}^{(i)} = 1$

$W_n^{(i)} = \sum_{k=2}^{i+1} b_{i-k+1} S_{n+k-i}^{(i+1)} \quad n \geq i$

$\{W_n^{(i)}\}_{n=0}^\infty$ is order $-i$ Fibonacci sequence where $i \geq 4$

2 – when $a_0 = i, a_1 = 1, a_j = 2a_{j-1} + 1, j = 2, 3, \dots, i - 1$

$b_0 = 3, b_1 = 4, b_2 = i + b_1, b_j = b_{j-1} - 1, j = 3, 4, \dots, i - 1, m = 1$

Then $W_0^{(i)} = i, W_1^{(i)} = 1, W_j^{(i)} = 2W_{j-1}^{(i)} + 1, j = 2, 3, \dots, i - 2$

$w_n^{(i)} = \sum_{k=2}^{i+1} b_{i-k+1} S_{n+i-k}^{(i+1)} \quad n \geq i$

$\{W_n^{(i)}\}_{n=0}^\infty$ is order $-i$ Lucas sequence where $i \geq 4$

Theorem 10 the sequences $\{W_n^{(3)}\}_{n=0}^\infty$ satisfy following

$L_n^{(n)} = F_{2n}^{(n)}$

Theorem 11 (Generating function of $\{W_n^{(i)}\}_{n=0}^\infty, i \geq 4$). The generating function of sequence $\{W_n^{(i)}\}_{n=0}^\infty$ is given by

$D_{(x)}^i = \sum_{n=0}^\infty W_n^{(i)} x^n = \frac{\sum_{k=0}^{i-1} (a_k - a_{k-1} - \dots - a_0) x^k}{1 - x - x^2 - \dots - x^i} \quad i \geq 4$ (2.14)

Special cases.

1 – When $a_j = 0$ where $j = 0, 1, \dots, i - 2, a_{i-1} = 1,$

Then $D_{(x)}^i = \sum_{n=0}^\infty W_n^{(i)} x^n = \frac{x^{i-1}}{1 - x - x^2 - \dots - x^i}$

D_x^i is generating function of order $-i$ Fibonacci

2 – when $a_0 = i, a_1 = 1, a_j = 2a_{j-1} + 1, j = 2, 3, \dots, i - 2$

Then $D_{(x)}^i = \sum_{n=0}^\infty W_n^{(i)} x^n = \frac{\sum_{k=0}^{i-1} (a_k - a_{k-1} - \dots - a_0) x^k}{1 - x - x^2 - \dots - x^i}$

D_x^i is generating function of order $-i$ Lucas

3. Conclusions and Recommendations

The sequences of Bernoulli numbers allow to obtained Fibonacci and Lucas numbers.

New formula for sequences of Fibonacci and Lucas for a run of n successes in a sequence of Bernoulli trials can be obtained to a closed form for special values of the real numbers a and b .

Obtained the closed form for the order $-i$ Fibonacci and Lucas and their generator function together.

Connection between Fibonacci and Lucas with the help of Bernoulli sequence were derived.

We studied the probability distribution function (pdf) of the waiting time $(W(k))$ problem both in independent and in homogeneous two state Markovian trials and express the pdf of $W(2)$ for symmetric trials, we used a relationship with the 2th order Fibonacci and Lucas sequence.

4. Suggestions

The researcher recommends using the k -order relationship of the Fibonacci and Lucas sequences to study the probability distribution function of the waiting time

References

- Koutras, M. V. (1996). On a waiting time distribution in a sequence of Bernoulli trials. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 48(4), 789-806.
- Chaves, L. M., & de SOUZA, D. J. (2007). Waiting time for a run of N successes in Bernoulli sequences. *Rev. Bras. Biom*, 25(4), 101-113.
- Aki, S., & Hirano, K. (2007). On the waiting time for the first success run. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 59(3), 597-602.
- Kim, S., Park, C., & Oh, J. (2013). On waiting time distribution of runs of ones or zeros in a Bernoulli sequence. *Statistics & Probability Letters*, 83(1), 339-344.
- Öcal, A. A., Tuglu, N., & Altinişik, E. (2005). On the representation of k-generalized Fibonacci and Lucas numbers. *Applied mathematics and computation*, 170(1), 584-596.
- Bekker, B. M., Ivanov, O. A., & Ivanova, V. V. (2016). Application of Generating Functions to the Theory of Success Runs. *Applied Mathematical Sciences*, 10(50), 2491-2495.
- Singh, B., Sisodiya, K., & Ahmad, F. (2014). On the Products of-Fibonacci Numbers and-Lucas Numbers. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 2014.
- Greenberg, I. (1970). The first occurrence of n successes in N trials. *Technometrics*, 12(3), 627-634.
- Klots, J. H., & Park, C. J. (1972). *Inverse Bernoulli Trials with Dependence* (No. UWIS-DS-72-311). WISCONSIN UNIV MADISON DEPT OF STATISTICS.
- Saperstein, B. (1973). On the occurrence of n successes within N Bernoulli trials. *Technometrics*, 15(4), 809-818.
- Koutras, M. V. (1996). On a waiting time distribution in a sequence of Bernoulli trials. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 48(4), 789-806.
- Koutras, M. V. (1997). Waiting times and number of appearances of events in a sequence of discrete random variables. In *Advances in combinatorial methods and applications to probability and statistics* (pp. 363-384). Birkhäuser Boston.
- Shane, H. D. (1973). A Fibonacci probability function. *The Fibonacci Quarterly*, 11(6), 511-522.



Üniversite Web Sitesi Ana Sayfalarının Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi: Göz İzleme Yaklaşımı

Gonca Gokce Menekse Dalveren^{1*}, Serhat Peker²

^{1*} Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8649-1909), gonca.menekse@atilim.edu.tr

² İzmir Bakırçay Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6876-3982), serhat.peker@bakircay.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 7 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.915711)

ATIF/REFERENCE: Menekse Dalveren, G.G., Peker, S. (2021). Üniversite Web Sitesi Ana Sayfalarının Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi: Göz İzleme Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 782-789.

Öz

Ziyaretçilerin ilk karşılandığı yer olan üniversite web sitesi ana sayfalarının iyi bir tasarıma sahip olması ve ziyaretçileri tarafından kullanışlı bulunması, aday öğrenci, araştırmacı, yerli ve yabancı akademik kuruluşlar gibi dış paydaşların üniversiteye olan ilgilerini artırmak ve sürekli kılmak adına oldukça kilit rol oynamaktadır. Bu motivasyondan yola çıkarak bu çalışma, seçilen beş Türk üniversitesinin ana sayfa tasarımlarını kullanılabilirlik yönünden değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda göz izleme yaklaşımı kullanılmış, bir insan-bilgisayar etkileşimi laboratuvarındaki göz izleme cihazı ve diğer donanımlar vasıtasıyla katılımcıların ilgili web sayfalarıyla olan etkileşimlerini incelenmiştir. Deneklerin görüntüleme davranış verilerinin belirli göz hareketlerine göz izleme cihazı yazılımı kullanılarak odaklanma sayısı, ilk ziyarete kadar geçen süre, ve toplam ziyaret süresi olarak sınıflandırılmasından sonra, ANOVA methodu ile istatistiksel detaylı analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgular, kullanıcıların ilgili sayfalardaki menü bileşenlerini bulma görevlerini yerine getirdikleri halde, bu sayfaların kullanılabilirliğinde istenilen bileşeni kısa sürede farkedememe, farklı alanlarda arama gibi zorluklarla karşılaştıklarını göstermiştir. Bu çalışma, bu alanda çalışan araştırmacılara, üniversite web sayfalarının göz izleme yöntemi ile kullanılabilirliklerinin değerlendirmesine ilişkin değerli bir referans olmasının yanı sıra paydaşların ilgisini çeken ve daha kullanıcı merkezli üniversite web sitesi ana sayfalarının tasarlanması yönünde çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnsan-bilgisayar etkileşimi, Web sitesi kullanılabilirliği, Kullanıcı deneyimi, Bilgi sistemleri, Bilgi yönetimi, Göz izleme.

Evaluating the Usability of University Web Site Home Pages: Eye Tracking Approach

Abstract

The fact that the home pages of the university website, which is the first place where the visitors are welcomed, have a good design and are useful by the visitors, plays a very key role in increasing and sustaining the interest of external stakeholders such as prospective students, researchers, domestic and foreign academic institutions. Based on this motivation, this study aims to evaluate the home page designs of five selected Turkish universities in terms of usability. For this purpose, an eye tracking approach was used, and the interactions of the participants with the relevant web pages were examined through the eye tracking device and other equipment in a human-computer interaction laboratory. The findings obtained with the analysis of the viewing behavior data of the subjects showed that although the users mostly fulfilled the task of finding the menu items on the relevant pages, they encountered different difficulties in the usage of these pages. This study provides researchers working in this field as a valuable reference for the usability evaluation of the university web pages by eye tracking method, as well as implications for the design of more user-centered university homepages that attract stakeholders' attention.

Keywords: Human-computer interaction, Web site usability, User experience, Information systems, Information management, Eye tracking.

* Sorumlu Yazar: gonca.menekse@atilim.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde web siteleri, organizasyonların küresel pazarda aktif bir şekilde yer almalarında kilit bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, üniversiteler aday öğrencilerden kendi personeline kadar tüm paydaşlarıyla iletişimde kalmak ve onlara çeşitli hizmetler sağlamak adına web sitelerini etkin bir şekilde kullanmaktadır. Aynı zamanda, web siteleri, üniversitelerin tüm faaliyetleri hakkında bilgi veren yegâne kaynak olup üniversitelerin tanıtımında hatırı sayılır düzeyde bir paya sahiptir. Tüm bu avantajlarıyla birlikte, web siteleri, üniversitelerin vazgeçilmez, hayati bir parçası ve en görünür yüzlerinden biri haline gelmiş durumdadır (Peterson, 2006). Günümüzde, gelişen internet ve bilişim teknolojileri sayesinde, üniversiteler web sayfalarını ihtiyaçları doğrultusunda farklı tasarımlarda sunabilmektedir. Diğer taraftan, paydaşlar üniversite web sitelerinde harika kullanıcı deneyimleri bekleme eğilimindedir. Bu durum, kullanıcıların beklenti ve davranışlarını dikkate alarak tasarımsal açıdan kullanıcı odaklı web sayfaları geliştirmeleri noktasında üniversiteler üzerinde baskı yaratmaktadır.

Kullanıcıların, bir web sitesindeki tüm sayfalara erişebilmeleri için öncelikli olarak ilgili web sitesinin ana sayfasını ziyaret etmeleri gerekmektedir. Bu bağlamda, ilk izlenimde önemli payı olan web sitesi ana sayfaları, ziyaretçilerin dikkatini çekmelidir (Jakob Nielsen, 2001). Ziyaretçileri ilk girişte karşılayan üniversite web sitelerinin ana sayfaları, özellikle dış paydaşlar tarafından yoğun bir şekilde incelenmekte ve bu kullanıcılar, üniversite hakkında ilk izlenimi bu sayfalar üzerinden edinmektedirler. Tasarımı iyi, kullanışlı ve profesyonel bir görünüme sahip üniversite ana sayfaları, ziyaretçilerinde olumlu bir ilk izlenim bırakacak, aday öğrenci, araştırmacı, yerli ve yabancı akademik kuruluşlar gibi dış paydaşların ilgili üniversite ile atacağı olası adımların önünü açacaktır.

Bir web sitesinin kullanılabilirliği, her zaman kullanıcıların ilgili web sitesi hakkında algı ve davranışlarını etkileyen büyük bir faktör olmuştur (Patterson & Ellis, 2004). Bu bağlamda, web sitesinin kullanılabilirliği, web sitesinin tasarımında önemli rol oynamaktadır. İyi tasarlanmış bir web sitesi, kullanıcıların görevleri sorun yaşamadan başarılı bir şekilde tamamlayabilmesine olanak sağlamalıdır (Yan & Guo, 2010). İyi tasarlanmamış bir web sitesi ise, kullanıcıların siteyi etkili ve verimli bir şekilde kullanmasını engelleyebilir ve dolayısıyla kullanıcılar web sitesini bir daha ziyaret etmek istemeyebilir. Bu nedenle, web kullanılabilirliğinin kullanıcı memnuniyeti üzerinde doğrudan bir etkisi bulunmaktadır. (Matera, Rizzo, & Carughi, 2006).

Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO), kullanılabilirlik, "bir ürünün, belirli kullanıcılar tarafından, belirli bir kullanım bağlamında etkinlik, verimlilik ve memnuniyetle belirtilen hedeflere ulaşmak için ne ölçüde kullanılabileceği" olarak ifade etmiştir (International Organization for Standardization, 1998). Web sitelerinin kullanılabilirliğini ölçmek için geleneksel kullanılabilirlik testi, odak grup araştırması, sesli düşünme yöntemi, gözlem, uzman değerlendirmesi, kullanıcı anketi ve göz izleme yöntemi gibi birçok yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar içinde geleneksel kullanılabilirlik testi en yaygın olarak kullanılan yöntem olup kullanıcıların web sitelerini ne kadar etkili (örneğin, görev başarısı), verimli (örneğin, görevdeki süre) ve memnun (örneğin, kullanıcıların ara yüzle ilgili görüşleri) bir şekilde kullandığına ilişkin ölçümler içermektedir (Wang et al., 2019).

Geleneksel yöntemlerin yanı sıra göz izleme teknolojilerinin gelişmesi ve elverişliliği ile birlikte göz takibi yaklaşımını kullanmak, son zamanlarda kullanılabilirlik analizi çalışmalarında çok popülerdir. Bu yöntem, kullanılabilirlik değerlendirmelerinde kullanıcıların dikkat ve bilişsel süreçleri hakkında daha fazla bilgi elde etmeye olanak sağlamaktadır. Göz izleme çalışmalarında elde edilen metriklerin, genel olarak göz hareketlerindeki farklılıklar ile bağlantılı olduğu belirlenmiştir (Goldberg & Wichansky, 2003). Bu metriklerle ilişkin elde edilen veriler, kullanıcıların ara yüzde ilk nereye baktıkları, hangi alanlara daha çok odaklandıkları ve neleri göz ardı ettikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (Johansen & Hansen, 2006; Nakatani & Pollatsek, 2004; Russell, 2005). Ayrıca göz izleme çalışmalarından elde edilen nicel veriler, ara yüzlerin, kullanılabilirliğinin nesnel olarak değerlendirmesine olanak sağlamaktadır. (Duchowski, 2007; Poole & Ball, 2005). Özetle sunduğu tüm bu imkanlarla birlikte, göz izleme yaklaşımı, geleneksel kullanılabilirlik testleriyle gözlemlenemeyen kullanıcı davranışlarını, keşfetmek ve derinlemesine araştırmak için kullanılabilir.

Bu çalışmanın amacı, göz izleme tekniğini kullanarak, üniversite web sitesi ana sayfalarını kullanılabilirlik açısından değerlendirmektir. Bunun için seçilen beş Türk üniversitesinin ana sayfa tasarımları, 31 deneye katıldığı göz izleme deneyi ile değerlendirilmiştir. Deneyde, katılımcılardan üniversitelerin ana sayfalarında sıklıkla kullanılan menü bileşenlerini bulmaları istenmiş ve bu esnada ilgili sayfalardaki göz hareketleri kaydedilmiştir. Göz izleme deneyi sonucunda elde edilen katılımcıların görüntüleme davranış verileri odaklanma sayısı, ilk ziyarete kadar geçen süre ve toplam ziyaret süresi olarak göz izleme cihazı tarafından sunulan yazılım ile sınıflandırıldıktan sonra istatistiksel ANOVA testi ile analiz edilmiş, seçilen üniversitelerin ana sayfa tasarımları kullanılabilirlik açısından değerlendirilmiş ve kıyaslanmıştır. Bu çalışmanın, bu alandaki araştırmacılara, üniversite web sitelerinin kullanılabilirliğinin göz izleme yaklaşımı ile değerlendirmesine yönelik bir yol haritası sağlamak ve üniversite yönetimlerine, ziyaretçilerle daha iyi etkileşim yaratan ve onlarda daha iyi izlenim bırakabilecek ana sayfa tasarım önerileri sunmak gibi teorikte ve pratikte temel katkıları mevcuttur.

2. Literatür taraması

Yıllar içinde, farklı alanlardaki web sitelerinin kullanılabilirlik değerlendirmeleri üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Özellikle geçtiğimiz son on beş yıl süresince, web kullanılabilirlik çalışmaları, yükseköğretim kurumları üzerinde de yaygın olarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda yapılan ilk çalışmalardan birinde, Alexander (Alexander, 2005) on beş üniversite web sitesinde (13 Avustralya sitesi, bir ABD ve İngiltere'den bir site) üç farklı kullanıcı test yöntemi (gözlem, sesli düşünme ve anket) kullanarak kullanıcı deneyimlerini araştırmış ve zayıf bilgi mimarisi, zayıf içerik, zayıf arama ara yüzü tasarımı ve PDF belgelerinin kullanımı gibi dört yaygın kullanılabilirlik problemi tespitinde bulunmuştur. Bu alanda yapılan bir diğer öncü çalışmada Özçelik vd. (Özçelik, Kurşun, & Çağiltay, 2006) göz izleme yöntemini kullanarak 16 katılımcı ile birlikte dört farklı Türk üniversitesinin web sayfalarını kullanılabilirlik açısından değerlendirmişler ve elde ettikleri sonuçlar ışığında uygulayıcılara bu yönde öneriler sunmuşlardır.

Kostaras ve Xenos (Kostaras, Kostaras, Xenos, & Xenos, 2007) ve Du Toit ve Bothma (Du Toit & Bothma, 2009) tarafından

yapılan çalışmalarda üniversite web sitelerini değerlendirmek için sezgisel değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Her iki çalışma da değerlendirilen web sitelerinde eski içerik, zayıf gezinme, uygunsuz menü tasarımı ile ilgili bir dizi ortak tasarım problemleri dile getirilmiştir. Mustafa ve Al-Zoua'bi (Mustafa & Al-Zoua'bi, 2008) Ürdün'deki, Islam ve Tsuji (Islam & Tsuji, 2011) ise Bangladeş'deki bir dizi üniversite web sitelerinin kullanılabilirliğini otomatik yazılım araçları olan HTML toolbox ve web sayfası analizi araçlarını kullanarak değerlendirmişlerdir. Mustafa ve Al-Zoua'bi (Mustafa & Al-Zoua'bi, 2008), Ürdün web sitelerinin genel kullanılabilirlik düzeyinin kabul edilebilir olduğunu gösterirken, Islam ve Tsuji (Islam & Tsuji, 2011), Bangladeş web siteleriyle ilgili memnuniyetsizliği ortaya çıkarmış ve bu web sitelerindeki yaygın zayıflıkları dile getirmiştir.

Çağlar ve Mentés (Çağlar & Mentés, 2012), çekicilik, kontrol edilebilirlik, verimlilik, yararlılık ve öğrenilebilirlik olmak üzere beş temel faktöre dayanan WAMMI anketini kullanarak Lefke Avrupa Üniversitesi web sitesini kullanılabilirlik yönünden değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, LAÜ web sitesinin genel kullanılabilirlik düzeyinin kullanıcıları tatmin etmediğini göstermiş ve bu sonuçlara dayanarak, kullanıcı memnuniyeti ve kullanılabilirliği iyileştirmek için bir dizi kılavuz önerilmiştir. Benzer şekilde, Mentés ve Turan (Mentés & Turan, 2012) da Namık Kemal Üniversitesi web sitesinin kullanılabilirliğini ölçmek için aynı anket tekniğini (WAMMI) kullanmıştır. Bu çalışmada, ek olarak kullanıcıların kullanılabilirlik algısını etkileyebilecek olası faktörlerde (cinsiyet, yaş, internet deneyimi vb.) incelenmiştir. Sonuçlar, cinsiyet ve internet kullanım deneyiminin, kullanıcıların kullanılabilirliğe ilişkin algılarını etkilediğini ortaya koymuştur.

Alotaibi (Alotaibi, 2013) Suudi Arabistan'daki bir dizi özel ve devlet üniversitesi web siteleri üzerine otuz katılımcıyla sezgisel kullanılabilirlik değerlendirmesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Sonuçlar, ülkedeki kullanıcı dostu üniversite web siteleri tasarlama ve geliştirme yönünde olumlu bir girişim olduğunu gösterirken, devlet üniversitesi web sitelerinin özel üniversite web sitelerine göre daha kullanıcı dostu görülmüştür. Bir diğer çalışmada, Tüzün vd. (Tüzün, Akinci, Kurtoğlu, Atal, & Pala, 2013) Hacettepe Üniversitesi Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı web sayfasında on öğrencinin bilgi arayışını, göz izleme ve sesli düşün protokolü yöntemleri ile incelemiştir. Göz izleme veri analizi, öğrencilerin arama görevlerini gerçekleştirirken sık sık web sitesinin ana sayfasını aşağı ve yukarı kaydardıklarını ortaya çıkarmıştır.

Rahman ve Ahmed (Rahman & Ahmed, 2013) Bangladeş'deki Dakka Üniversitesi web sitesinin kullanılabilirliğini değerlendirmek için dört farklı kullanılabilirlik ölçeğinden (Kullanıcı Arayüzü Memnuniyeti Anketi, akademik web siteleri için JISC kontrol listesi, QUIS ve WAMMI) faydalanmıştır. Elde edilen sonuçlar, çoğu katılımcının, ilgili üniversite web sitesinden memnun kalmadıklarını ve buna bağlı olarak web sitesinin özellikle içerik kalitesi yönünden iyileştirilmeye ihtiyacı olduğunu ortaya koymuştur. Hasan (Hasan, 2014) Ürdün'deki dokuz farklı üniversite web sitesinin kullanılabilirliğini, gezinme, mimari, kullanım ve iletişim kolaylığı, görsel tasarım ve içerikten oluşan beş temel kullanılabilirlik faktörünü kullanarak değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, katılımcıların test edilen web sitelerinin içeriğinden ve gezinmesinden (kullanım kolaylığı) memnun olduğunu, ancak web sitelerinin tasarımından memnun olmadığını göstermiştir.

Peker vd. (Peker, Kucukozer-Cavdar, & Cagiltay, 2016) beş farklı Türk üniversitesinin web sitelerinin kullanılabilirliğini değerlendirmiş ve karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, web sitesi kullanımındaki kullanıcı memnuniyetini değerlendirmek için anket, seçilen görevlerle kullanıcı performansını ölçmek için kullanıcı testi uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, seçilen üniversite web sitelerinin çok sayıda kullanılabilirlik sorunu yaşadığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Melgarejo vd. (Torres Melgarejo, Zapata Del Río, & Quispe Vilchez, 2019) Peru üniversitelerinde, kullanıcılarla web varlığı ve kullanılabilirliğini değerlendirmiş ve bunların ilişkisini incelemiştir. Üniversite web sitelerinin kullanılabilirliği üzerine yapılan son araştırmalardan birinde ise Huang ve Bilal (Huang & Bilal, 2019) Tennessee Üniversitesi web sitesinin işe alım web sayfalarına ilişkin kullanıcı deneyimini, röportaj ve göz izleme teknikleriyle ölçmüştür. Bulgular, öğrencilerin web sitelerini kullanabildikleri ve arama görevlerinin çoğuna cevap bulabildikleri halde, bu web sitelerinin kullanılabilirliğiyle ilgili zorluklarla karşılaştıklarını göstermiştir.

Görüldüğü üzere literatürde hali hazırdaki çalışmalar, üniversite web sitelerinin kullanılabilirliğini çeşitli yöntemlerle değerlendirirken, bu çalışmalardan sadece birkaçı göz izleme yaklaşımını kullanmıştır. Ayrıca, üniversite ana sayfalarının kullanılabilirliğine ilişkin yapılan çalışmaların sayısı da oldukça sınırlıdır. Bunların yanı sıra, Türkiye'deki üniversitelerin ana sayfalarının kullanılabilirliğini, göz izleme yaklaşımını kullanarak değerlendiren bir çalışma daha önce yapılmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak adına bu çalışma, Türkiye'deki üniversite ana sayfalarının kullanılabilirliğini göz izleme tekniği yordamıyla incelemeyi amaçlamaktadır. Bu motivasyonlardan yola çıkarak mevcut çalışma bu boşlukları doldurmayı amaçlamaktadır.

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, seçilen üniversitelerin ana sayfa tasarımları kullanılabilirlik açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla, katılımcıların yer aldığı göz izleme deneyi düzenlenmiş ve bu deneyde, deneklerin ilgili web sayfalarıyla olan etkileşimi sırasında görüntüleme davranış verileri kaydedilmiştir. İzlenen yönteme ilişkin önemli hususlar ve adımların ayrıntılı açıklaması aşağıdaki alt başlıklarda sunulmaktadır.

3.1. Ana sayfa menu bileşenleri ve üniversiteler

Üniversite web sitesi ana sayfalarının kullanılabilirlik değerlendirmesini yapmak üzere öncelikle katılımcılara verilecek arama görevlerine ilişkin menü bileşenleri belirlenmiştir. Bu menü bileşenlerinin, üniversite ana sayfalarının genelinde bulunmasına ve ziyaretçiler tarafından sıklıkla kullanılan veya ihtiyaç duyulan işlemlere ilişkin olmasına dikkat edilmiştir (Özçelik, Kurşun, & Çağiltay, 2006). Bu amaçla, "Adaylar", "Akademik", "Arama Alanı", "Dil Seçeneği", ve "Kampüs Hayatı" olmak üzere beş adet menü bileşeni belirlenmiştir.

Bir diğer önemli nokta ise kullanılabilirlik değerlendirmesine ilişkin çalışmada kullanılacak üniversiteleri belirlemektir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen üniversite web siteleri QS World 2019 sıralamasına (Rankings, 2019) göre belirlenmiştir. Bu sıralamaya göre Türkiye'nin en iyi beş üniversitesinin web siteleri çalışmaya dahil edilmiştir. Bu üniversiteler ve ana sayfalarına ilişkin linkler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Ana sayfaları değerlendirilen üniversiteler

Üniversite	Link
Bilkent	http://www.bilkent.edu.tr/
Boğaziçi	http://www.boun.edu.tr/
Koç	https://www.ku.edu.tr/
ODTÜ	http://www.metu.edu.tr/tr
Sabancı	https://www.sabanciuniv.edu/

3.2. Katılımcılar

Bu çalışma, toplam 31 gönüllü katılımcı ile yapılmıştır. Tüm denekler Helsinki Bildirgesi'ne uygun olarak sözlü bilgilendirilmiş onam vermişlerdir. Tüm istatistiksel analizler, 16'sı erkek, 15'i kadın olmak üzere toplam 31 katılımcının deneysel verilerine dayanılarak yapılmıştır. Bu örneklem büyüklüğü, genellikle nispeten küçük boyuttaki katılımcılarla yürütülen nitel ve keşifsel göz izleme çalışmaları için yeterli kabul edilmektedir (Wedel ve Pieters, 2008b). Katılımcıların yaşları 19 ile 26 arasında değişmekte, ortalama 22.13 olup (SS = 2.15), yaşın sonuçlar üzerindeki potansiyel dışsal etkilerini azaltmak için makul bir örneklemdir. Tüm katılımcılar gözlük veya kontakt lens takarak düzeltilmiş normal veya normal görmeye sahiptirler. Dahası, hepsi sağ elini kullanmakta ve Batı sistemi gibi soldan sağa okuma davranışına sahiptirler.

3.3. Veri toplama araçları

Deneyler, Atılım Üniversitesi SimLab'da sessiz bir odada gerçekleştirilmiştir. Bu odada bulunan deney araçları, 1366-768 piksel ekran çözünürlüğüne sahip bir Tobii X60 göz takip cihazı, bir masaüstü bilgisayar ve bir 18,5 inç LED monitörden oluşmuştur. Tüm bu cihazlar birbirine bağlanmıştır. Göz izleyicinin örnekleme frekansı 60 Hz ve doğruluk seviyesi 0,5 derecedir. Ayrıca, uyarıcıları sunmak, göz takip cihazını kalibre etmek, katılımcı göz hareketleri ve odaklanma davranışları ile ilgili verileri kaydetmek ve tanımlayıcı istatistikler oluşturmak için Tobii Studio Yazılımı kullanılmıştır.

3.4. Deney tasarımı ve veri toplama süreci

Araştırmanın temelini oluşturan deneyin tasarımında oldukça dikkatli davranılmıştır. Gerçek deneyden önce, deney ortamını ve koşullarını değerlendirmek ve daha da önemlisi, her bir web sayfasının ne kadar süreyle gösterilmesi gerektiğine karar vermek için beş katılımcı ile yapısı ve içeriği gerçek deneyle birebir aynı olan bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir.

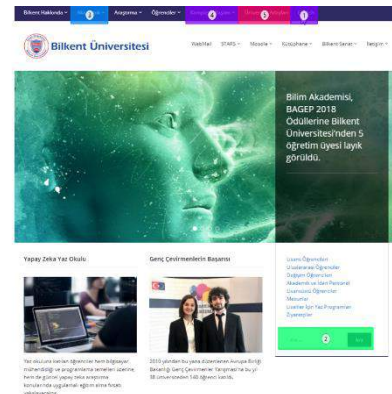
Gerçek deney bir dizi adımdan oluşmuştur. İlk olarak, katılımcılara deneysel prosedür ve göz izleme cihazı hakkında bilgi verilmiştir. Katılımcılardan araştırmaya gönüllü olarak katıldıklarını belirten bilgilendirilmiş onamları alınmıştır. Katılımcılar bilgisayar ekranının önündeki sabit bir sandalyeye oturtulmuştur ve oturma pozisyonları monitörün önünde 70 cm mesafede ortalananacak şekilde ayarlanmıştır. Standartlaştırılmış ekran parlaklığı ve ortam ışığı sağlanmıştır ve katılımcılara deney sırasında ekrana bakmaları talimatı verilmiştir. Göz izleme cihazı monitörün altına yerleştirilmiş ve göz izleyicinin katılımcıların göz hareketlerini doğru bir şekilde kaydetmesini sağlamak için bir kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kalibrasyon sonuçları standartlara ulaştıktan sonra, ilgili web sayfaları katılımcıların dikkatine sunulmuştur. Her bir web

sayfasında, katılımcılar sırasıyla istenen menü bileşenlerini bulmaya çalışırken, bu esnada göz hareketleri göz izleme cihazı tarafından kayıt altına alınmıştır. Katılımcıların pilot çalışmadaki web sayfalarını görüntülerken harcadıkları ortalama süre 20 saniye olduğundan, beş üniversite ana sayfasındaki her bir menü bileşeni otomatik olarak 20 saniye süreyle görüntülenmiştir. Bu şekilde 20 saniyeden uzun izleme süreleri katılımcıların sıkılmasına, görsel olarak yorulmalarına ve konsantrasyonlarını kaybetmelerine neden olabilmektedir. Ayrıca, sonuçlarda olası bir yanlışlığa mahal vermemek adına deneylerde üniversite sayfaları beş farklı kombinasyonda kullanıcılara sunulmuştur. Her bir web sayfası ekranda görünmeden önce, katılımcıların web sayfalarının belirli noktalarına odaklanmalarını önlemek için 3 saniye boyunca beyaz bir arka plan görüntüsünde kırmızı bir daire sunulmuş ve bu dairenin içinde katılımcılardan bulunması istenen menü bileşeni belirtilmiştir. Böylece katılımcıların dikkati aynı yere çekilmiştir.

3.5. Göz izleme ölçütleri ve veri analizi

Dikkat düzeyi, daha önce tanımlanmış olan İlgi Alanları'ndaki göz hareketi verileri kullanılarak ölçülmüştür. Tüm araştırma disiplinlerinde, İlgi Alanları, göz hareketi ölçümleri sunulan uyarının bölümleriyle ilişkilendirilmek için kullanılmaktadır ve uyarıların en alakalı kısımlarını belirlemek için ayrı ayrı tanımlanmaktadır (Hessels, Kemner, van den Boomen, & Hooge, 2016). Bu çalışmada, İlgi Alanları deney tasarım aşamasında tanımlanmıştır. Tobii Studio Yazılımı, İlgi Alanları'nın analizde kullanılacak şekilde tanımlanmasına olanak tanımaktadır. İlgi Alanları, bir web sayfasının belirli içeriğine karşılık gelen küçük bölümler ve geometrik alanlardır (Şekil 1). Göz hareketlerini analiz etmek için, deneylerden önce her web sayfası menü bileşeni için İlgi Alanları tanımlanmıştır. Tanımlanan İlgi Alanları şu şekildedir: "Adaylar", "Akademik", "Arama", "Dil seçeneği" ve "Kampüs hayatı". Şekil 1'de Bilkent Üniversitesi web sayfasında belirlenmiş olan menü bileşenleri İlgi Alanları gösterilmektedir. Bu İlgi Alanları deney tasarım aşamasında numaralandırılmış ve analizler bu İlgi Alanları'ndaki göz hareketleri incelenerek yapılmıştır. Web sayfası menü bileşenlerinin görüntülenmesi sırasında katılımcıların odaklanma noktaları ve süreleri izlenmiştir. Göz izleme çalışmalarında, odaklanma, bir katılımcının gözünün belirli bir İlgi Alanı'nda belirli bir süreden fazla duraklaması anlamına gelmektedir.



Şekil 1. Bilkent Üniversitesi web sayfası menü bileşeni için İlgi Alanı tanımları

Katılımcıların her bir İlgi Alanı'na verdikleri ilgiyi değerlendirmek için, Tobii Studio Yazılımı tarafından oluşturulan üç ortak göz hareketi değişkeni kullanılmıştır. Bunlar, odaklanma sayısı (OS), ilk ziyarete kadar geçen süre (IZS) ve toplam ziyaret süresi (TZS) olarak belirtilmiştir. OS, belirli bir İlgi Alanı

üzerindeki odaklanma sayısıdır. Bir İlgi Alanı'nın OS ne kadar yüksekse, izleyici için o kadar çekici olmaktadır. IZS, bir uyarın ekranının başlangıcından katılımcının İlgi Alanı'na ilk kez odaklanmasına kadar geçen süredir. İlgi Alanı'nın IZS'si kısaysa, bu bölgenin çok dikkat çekici olduğunu göstermektedir. TZS, belirli bir İlgi Alanı içindeki tüm ziyaretlerin süresidir ve belirli bir İlgi Alanı'ndaki daha uzun TZS, o alan için daha fazla süre harcadığını göstermektedir.

Bu göz hareketi değişkenlerinin verileri analiz için önceden işlenmiş ve ardından istatistiksel analiz, Windows için SPSS yazılım paketi (sürüm 22; IBM Corporation, New York, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Konumların web sayfası menü bileşenlerine verilen görsel dikkat üzerindeki etkisini değerlendirmek için, her bir katılımcı için tüm katılımcıların göz hareketi verileri üzerinde bir dizi tekrarlanan ölçüm varyans analizi (RM-ANOVA) (denekler içi faktör için) testi yapılmıştır. Anlamlı ANOVA sonuçları göz önüne alındığında, farklılıkların ikili karşılaştırmalarını araştırmak için Bonferroni post hoc testleri ve istatistiksel analiz için .05 alfa seviyesi kullanılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada Tobii Studio Yazılımı ile ısı haritaları oluşturulmuştur. Göz izleme araştırmalarındaki ısı haritaları kullanıcıların bakış dağılımının niteliksel izlenimini göstermektedir. Gözlem süresi boyunca bakış pozisyonlarının toplanması ve odaklanılan alanların belirlenmesi ile ısı haritası oluşturulur. Katılımcıların göz hareketlerinden oluşturulan ısı haritaları kullanılarak katılımcıların web sayfalarındaki göz hareketi davranışları incelenmiştir.

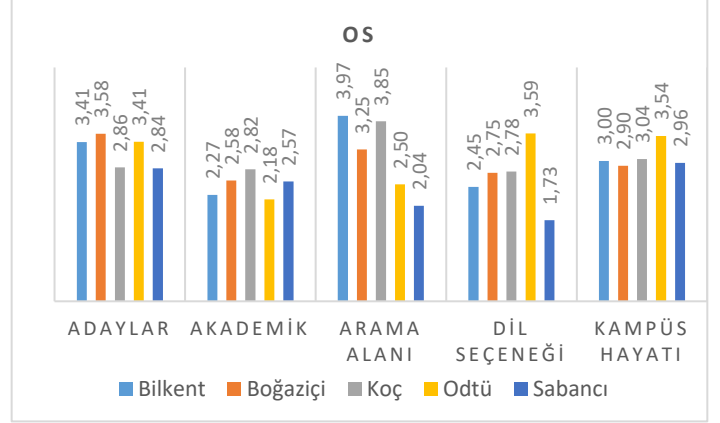
4. Bulgular

Beş üniversite web sayfasının her birinin İlgi Alanı için OS, TZS ve IZS ölçümlerinin ortalamaları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 2 ve 3, hangi web sayfası elemanının en yüksek odaklanma sayısına ve ziyaret süresine sahip alan olduğunu göstermektedir. "Adaylar" web sayfası İlgi Alanı için Boğaziçi Üniversitesi, "Akademik" web sayfası İlgi Alanı için Koç Üniversitesi, "Arama Alanı" İlgi Alanı için Bilkent Üniversitesi, "Dil Seçeneği" ve "Kampüs Hayatı" web sayfası İlgi Alanları için Odtü en yüksek odaklanma sayısına sahiptir. Bu, hangi web sayfası elemanının en çekici alan olduğunu, hangi alanların ise en az ilgi gören alan olduğunu göstermiştir.

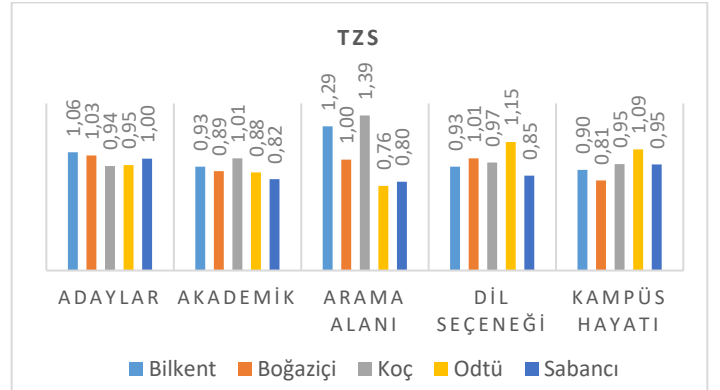
Üniversite ana sayfalarının İlgi Alanları'nın IZS değerlerinin sonuçları, Koç Üniversitesi'nin tüm web sayfası menü bileşenleri için en yüksek IZS değerlerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, Koç Üniversitesi ana sayfası menü bileşenlerinin diğer üniversitelere göre daha fazla zamanda fark edildiğini, dolayısıyla daha az dikkat çekici olduğunu düşündürmüştür. IZS analiz sonuçları ayrıca "Akademik" ve "Kampüs Hayatı" alanlarının diğer web sayfası unsurlarına göre daha erken fark edildiğini göstermiştir.

Üniversite ana sayfalarının her bir İlgi Alanı tarafından yakalanan dikkat üzerinde önemli bir etkisi olup olmadığını belirlemek için, tanımlanan beş İlgi Alanı'nın her biri için göz izleme verileri üzerinde RM-ANOVA'lar gerçekleştirilmiştir. Tablo 2'deki post-hoc karşılaştırmalar sütununda ilgili varsayımları doğrulanmış ve anlamlı bir farkı yansıtan post hoc testlerinin sonuçları verilmiştir. Sonuçlar, beş web sayfası menü bileşeninin tümü için beş üniversite arasında önemli farklılıklar ortaya koymuştur. IZS ölçüsü ile ilgili olarak üniversite web sayfalarının "Adaylar" ($F(105.273) = 13.717, p < .001$), "Akademik" ($F(22.705) = 15.997, p < .001$), "Arama Alanı" ($F(488.250) = 27.019, p < .001$) ve "Dil Seçeneği" ($F(134.439) =$

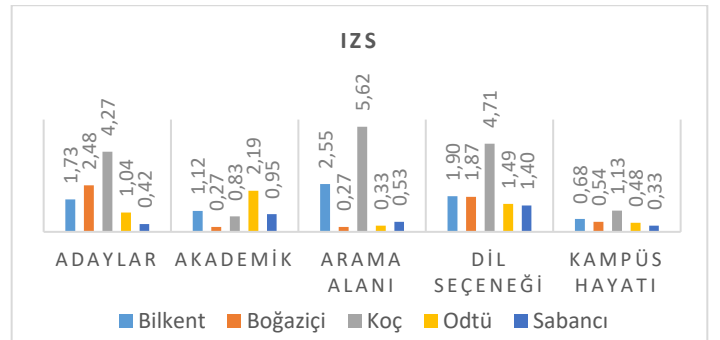
$8.401, p < .001$) menü bileşenlerine ilişkin sonuçlar Tablo 2'de belirtilmiştir. Ayrıca OS ölçümü ile ilgili olarak sonuçlar yine Tablo 2'de gösterilmiştir, "Arama Alanı" ve "Dil Seçeneği" menü bileşenleri için sırasıyla ($F(25.229) = 10.619, p < .001$), ($F(17.230) = 7.976, p < .001$) değerleri bulunmuş ve görsel ilgi üzerinde önemli etkinin olduğunu göstermiştir. Ek olarak, TZS ölçümüne ilişkin sonuçlar, web sayfası menü bileşeni "Arama Alanı" na gösterilen görsel ilgi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu da göstermiştir ($F(3.733) = 7.841, p < .001$).



Şekil 2. Beş İlgi Alanı'nda odaklanma sayısının üniversitelere göre dağılımı



Şekil 3. Beş İlgi Alanı'nda toplam ziyaret süresinin üniversitelere göre dağılımı



Şekil 4. Beş İlgi Alanı'nda ilk ziyarete kadar geçen sürenin üniversitelere göre dağılımı

Tablo 2. Ana sayfa tasarımlarının görsel dikkat üzerindeki etkisini gösteren test sonuçları

İlgi Alanı	Ölçüt	F	Post-hoc karşılaştırmaları ^a
Adaylar	IZS	13.717	Bilkent<Koç, Odtü<Koç, Sabancı<Koç, Sabancı<Boğaziçi, Sabancı<Odtü
Akademik	IZS	15.997	Boğaziçi<Bilkent, Bilkent<Odtü, Boğaziçi<Koç, Boğaziçi<Odtü, Boğaziçi<Sabancı, Koç<Odtü, Sabancı<Odtü
Arama Alanı	OS	10.619	Odtü<Bilkent, Sabancı<Bilkent, Sabancı<Boğaziçi, Odtü<Koç, Sabancı<Koç,
	TZS	7.841	Odtü<Bilkent, Sabancı<Bilkent, Odtü<Koç, Sabancı<Koç,
Dil Seçeneği	IZS	8.401	Boğaziçi<Koç, Odtü<Koç, Sabancı<Koç
	OS	7.976	Sabancı<Boğaziçi, Sabancı<Koç, Sabancı<Odtü

a < önemli bir farkı yansıtır

p < .001

5. Tartışma

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, IZS verileri değerlendirildiğinde Sabancı Üniversitesi'nin ana sayfasının menü bileşenleri daha hızlı fark edilmiş, bunu sırasıyla Boğaziçi ve Odtü Üniversiteleri takip etmiştir. IZS değeri en fazla olan üniversite, Koç Üniversitesi olmuştur. Ayrıca elde edilen sonuçlardan menü bileşenlerinin ana sayfanın hangi kısımlarına yerleştirildiğinin görsel dikkat üzerinde önemli etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Menü bileşenlerinin sayfanın üst kısmında belirli aralıklar ile verilmiş olması katılımcıların aranan menü bileşenini daha hızlı bulmalarını sağlamıştır. IZS değerleri tüm üniversiteler için menü bileşenleri arasında değerlendirildiğinde ise en hızlı bulunan menü bileşeninin “Kampüs Hayatı” menü bileşeni olduğu görülmüştür. Bu bileşenin genellikle seçilen tüm üniversite sayfalarında menü alanının ortasında yer alması fark edilmesini kolaylaştırmıştır. Isı haritaları katılımcıların gösterilen web sayfası üzerinde hangi alanlara odaklandıklarını görsel olarak belirten haritalardır. Bu haritalarda kırmızı renk en uzun bakılan yerleri, sarı ve yeşil sırasıyla kısa ve daha kısa bakılan yerleri belirtmektedir. Şekil 5 'te verilen ısı haritasında da görüldüğü gibi

katılımcıların sayfanın farklı alanlarına odaklanmadan “Kampüs Hayatı” menü bileşenini fark ettiklerini ve bu alana daha fazla odaklandıklarını söylemek mümkündür.



Şekil 5. Odtü “Kampüs Hayatı” menü bileşeni ısı haritası

Elde edilen sonuçlara göre, IZS değeri en yüksek olan menü bileşeni ise “Arama Alanı” olmuştur. Seçilen üniversitelerin “Arama Alanı” bileşenleri sayfalarda farklı alanlarda konumlandığından bu alanın bulunması zaman almıştır. “Arama Alanı” menü bileşeni Bilkent Üniversitesi web sayfasında sağ alt köşede verilmiştir. Menü bileşenlerinin genellikle web sayfalarının üst bölümünde bulunmasına bağlı olarak katılımcıların “Arama Alanı” menü bileşenini sayfanın üst kısmında arayarak vakit kaybettikleri söylenebilir. Sayfanın üst kısmında arama yaptıktan sonra bulunması istenilen menü bileşenini fark edip bu alana odaklandıkları Şekil 6’da verilen ısı haritasından anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Bilkent “Arama Alanı” menü bileşeni ısı haritası

OS değerleri ele alındığında en az OS'nın Sabancı Üniversitesi'nde olduğu görülmüştür. Bunu Boğaziçi ve Bilkent Üniversiteleri takip etmiştir. Bu sonuca göre menü bileşenlerinin bulunma kolaylıkları sayfadaki OS ile bağlantılıdır denilebilir. İstenilen menü bileşenini bulmak için sayfada arama yapıldığı sırada ilgisiz alanlara odaklanılmış olması ve sayfadaki odaklanma sayısını artırmaktadır. Bu durum en fazla OS'na sahip olan Koç Üniversitesi'nde görülmüştür. Katılımcılar menü bileşenlerini ararken daha fazla noktaya odaklanarak OS sayısını artırmışlardır.

Üniversite web sayfalarını TZS değerleri ile karşılaştırdığımızda en fazla TZS'nin Koç Üniversitesi'ne, en az TZS değerinin ise Sabancı Üniversitesi'ne ait olduğu görülmüştür. Bu durumda menü bileşenlerinin hızlı bulunmaları katılımcıların web sayfası ziyaret sürelerini etkilemiştir. Kullanım kolaylığı olan menülerin, web sayfalarında istenen bileşeni

bulmak için harcanan süreyi kısalttığı görülmüştür. Böylece, katılımcılar amaçlanan bağlantıya daha hızlı erişmiş ve bilgiye ulaşım kolaylaşmıştır.

6. Sonuç

Günümüzde insanların bilgiye erişimi internet ortamında daha yaygın hale gelmiştir. Bu deneyimi daha etkili ve kolay hale getirmek için insan davranışlarının incelenmesi gereklilik arz etmektedir. Bu nedenle kullanıcıların web sayfalarındaki bilgiye ulaşma davranışlarını inceleyerek web sayfalarını daha etkili ve anlaşılır hale getirmek mümkündür.

Üniversite web sitesi ana sayfaları, tüm web site ana sayfalarında olduğu gibi gelen ziyaretçileri ilk karşılayan sayfalar olup ziyaretçilerin aradığını bulup bulamayacağı, nasıl bir deneyim yaşayacağı ve üniversite hakkında edinecekleri ilk intiba hususlarında etkin öneme sahiptir. Bu açıdan, üniversite ana sayfalarının ziyaretçilerinin aradığını bulabileceği, kullanıcı dostu bir tasarıma sahip olmaları oldukça önemlidir. Bu çalışmada, üniversite web sitesi ana sayfalarının sundukları kullanıcı deneyimi ve kullanılabilirlikleri, günümüzde popülaritesi giderek artan göz izleme yaklaşımı vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, gerekli ekipmanlara sahip bir insan-bilgisayar etkileşimi laboratuvarında katılımcıların dahil olduğu deneyler düzenlenmiştir. Deneylerde, katılımcılar ilgili üniversite ana sayfalarında sıklıkla kullanılan menü bileşenlerini bulmaya çalışmışlar ve bu deneyimleri sırasında, deneklerin göz hareketlerine ilişkin veriler toplanmıştır. Katılımcılar bu görevleri gerçekleştirirken bir göz izleme cihazı ile göz hareketleri kaydedilmiş ve analiz edilmek üzere belirli göz hareketi değişkenine sınıflandırılmıştır. Çeşitli göz izleme metriklerine ilişkin elde edilen bu veriler istatistiksel olarak analiz edilmiş ve ısı haritaları gözlemlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre bulunması istenen menü bileşeninin ve üniversite web sayfasının göz hareketi değişkenleri üzerinde etkisinin olduğu görülmüştür. Analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre menü bileşenlerinin eşit aralıklar ile yan yana verilmesi kullanım kolaylığı ve katılımcıların istenilen bilgiye daha hızlı erişmelerini sağlamıştır. Bu durum web sayfasında harcanan toplam süreyi kısaltmaktadır. Web sayfasındaki bilgilerin ve menü bileşenlerinin yerleşimleri ziyaret sürelerini etkilemektedir sonucuna varılabilir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular, üniversiteler için pratik sonuçlara sahiptir. Üniversiteler, ana sayfalarının etkinlik düzeylerini inceleyebilir ve web sayfalarının kullanılabilirliğini artırarak kullanıcı memnuniyetlerini yükseltebilirler. Dahası, üniversite web geliştiricileri daha etkili ve kullanıcı dostu web siteleri tasarlayabilirler. İleriki zamanlarda bu çalışma daha fazla üniversite web sayfası kullanılarak daha yüksek katılımcı sayısı ile tekrarlanarak sonuçların doğruluğu artırılabilir. Web sayfalarında bulunması istenilen menü bileşeni ve bağlantı sayısının artırılması da kullanıcı davranışlarını belirlemede faydalı olacaktır. Bunlara ek olarak kullanılan göz izleme cihazının etkinliğinin de sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olduğu söylenebilir. Teknolojinin de ilerlemesi ile daha doğru ve güvenilir kayıt yapabilen göz izleme cihazları üretilmektedir. Ayrıca, benzer çalışma farklı alanlarda hizmet veren kuruluşlar için de uygulanabilir olması açısından süreklilik arz etmektedir.

7. Teşekkür

Araştırma süresince değerli destekleri ve katkıları için Dr. Yavuz İNAL'a teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Alexander, D. (2005). How usable are university websites? A report on a study of the prospective student experience. AusWeb05: 11th Australasian World Wide Web Conference.
- Alotaibi, M. B. (2013). Assessing the usability of university websites in Saudi Arabia: A heuristic evaluation approach. Proceedings of the 2013 10th International Conference on Information Technology: New Generations, ITNG 2013. <https://doi.org/10.1109/ITNG.2013.26>
- Çağlar, E., & Menten, S. A. (2012). The usability of university websites - A study on European University of Lefke. International Journal of Business Information Systems. <https://doi.org/10.1504/IJBIS.2012.048340>
- Du Toit, M., & Bothma, C. (2009). Evaluating the usability of an academic marketing department's website from a marketing student's perspective. International Retail and Marketing Review.
- Duchowski, A. (2007). Eye tracking methodology: Theory and practice. In Eye Tracking Methodology: Theory and Practice. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-609-4>
- Goldberg, J. H., & Wichansky, A. M. (2003). Eye Tracking in Usability Evaluation. A Practitioner's Guide. In The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research. <https://doi.org/10.1016/B978-044451020-4/50027-X>
- Hasan, L. (2014). Evaluating the Usability of Educational Websites Based on Students' Preferences of Design Characteristics. International Arab Journal of E-Technology.
- Hessels, R. S., Kemner, C., van den Boomen, C., & Hooge, I. T. C. (2016). The area-of-interest problem in eyetracking research: A noise-robust solution for face and sparse stimuli. Behavior Research Methods, 48(4), 1694–1712. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0676-y>
- Huang, L. M., & Bilal, D. (2019). Usability of University Recruitment Web Pages from International Doctoral Students' Perspectives. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). https://doi.org/10.1007/978-3-030-23535-2_37
- International Organization for Standardization. (1998). ISO 9241-11: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - part 11: guidance on usability. International Organization for Standardization. <https://doi.org/10.1038/sj.mp.4001776>
- Islam, A., & Tsuji, K. (2011). Evaluation of Usage of University Websites in Bangladesh. DESIDOC Journal of Library & Information Technology. <https://doi.org/10.14429/djlit.31.6.1322>
- Jakob Nielsen. (2001). 113 Design Guidelines for Homepage Usability (Jakob Nielsen).
- Johansen, S. A., & Hansen, J. P. (2006). Do we need eye trackers to tell where people look? Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings. <https://doi.org/10.1145/1125451.1125630>
- Kostaras, N., Kostaras, N., Xenos, M., & Xenos, M. (2007). Assessing Educational Web-site Usability using Heuristic Evaluation Rules. Evaluation.

- Matera, M., Rizzo, F., & Carughi, G. T. (2006). Web usability: Principles and evaluation methods. In *Web Engineering*. https://doi.org/10.1007/3-540-28218-1_5
- Mentes, S. A., & Turan, A. H. (2012). Assessing the usability of university websites: An empirical study on Namik Kemal University. *Turkish Online Journal of Educational Technology*.
- Mustafa, S. H., & Al-Zoua'bi, L. F. (2008). Usability of the academic websites of Jordans' Universities An evaluation study. Conference: 9th International Arab Conference for Information Technology(ACIT'2008)., At Tunisia.
- Nakatani, C., & Pollatsek, A. (2004). An eye movement analysis of "mental rotation" of simple scenes. *Perception and Psychophysics*. <https://doi.org/10.3758/BF03196848>
- Özçelik, E., Kurşun, E., & Çağiltay, K. (2006). Göz Hareketlerini İzleme Yöntemiyle Üniversite Web Sayfalarının İncelenmesi. *Akademik Bilişim 2006 Bildiriler Kitapçığı*.
- Patterson, K., & Ellis, A. (2004). Usability and meeting the needs of educational Web site users. *Proceedings of the Tenth Australian World Wide Web Conference*.
- Peker, S., Kucukozer-Cavdar, S., & Cagiltay, K. (2016). Exploring the relationship between web presence and web usability for universities: A case study from Turkey. *Program*. <https://doi.org/10.1108/PROG-04-2014-0024>
- Peterson, K. (2006). Academic Web site design and academic templates: Where does the library fit in? *Information Technology and Libraries*. <https://doi.org/10.6017/ital.v25i4.3354>
- Poole, A., & Ball, L. J. (2005). Eye tracking in HCI and usability research. In *Encyclopedia of Human Computer Interaction*. <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-562-7.ch034>
- Rahman, M. S., & Ahmed, S. M. Z. (2013). Exploring the factors influencing the usability of academic websites: A case study in a university setting. *Business Information Review*. <https://doi.org/10.1177/0266382113482557>
- Rankings, Q. W. university. (2019). QS World university rankings 2019. <https://doi.org/10.1201/9781315155890-7>
- Russell, M. C. (2005). Hotspots and Hyperlinks: Using Eye-tracking to Supplement Usability Testing. *Usability News*.
- Torres Melgarejo, L., Zapata Del Río, C., & Quispe Vilchez, E. (2019). Exploring the Relationship Between Web Presence and Web Usability in Peruvian Universities. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23535-2_43
- Tüzün, H., Akinci, A., Kurtoğlu, M., Atal, D., & Pala, F. K. (2013). A study on the usability of a university registrar's office website through the methods of authentic tasks and eye-tracking. *Turkish Online Journal of Educational Technology*.
- Wang, J., Antonenko, P., Celepkolu, M., Jimenez, Y., Fieldman, E., & Fieldman, A. (2019). Exploring Relationships Between Eye Tracking and Traditional Usability Testing Data. *International Journal of Human-Computer Interaction*. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1464776>
- Yan, P., & Guo, J. (2010). The research of web usability design. 2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, ICCAE 2010. <https://doi.org/10.1109/ICCAE.2010.5451619>



Microplastic Release from Domestic Washing

Suna Ozden Celik^{1*}

¹ Tekirdag Namik Kemal University, Corlu Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Tekirdag, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9783-9512), sunacelik@nku.edu.tr

(First received 05 May 2021 and in final form 16 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.933322)

ATIF/REFERENCE: Celik, S., O. (2021). Microplastic Release from Domestic Washing. *European Journal of Science and Technology*, (25), 790-795.

Abstract

Plastics have been used by human beings in a wide variety of materials. Recently, microplastics, either primary or secondary, are encountered in different part of the environment on a global scale. One of the common type of microplastic is micro fiber. Microfibers are known to be released from washing of textile materials. The amount of released fiber varies depending on the washing conditions and fiber characterization. Microplastics can be harmful for aquatic organisms. Moreover, because long term effect of microplastic is unclear, the situation about microplastic is unpredictable at the future. Therefore, it is aimed in this study to evaluate the release of microfiber from domestic laundry washing operations. 5 washing cycles were studied with domestic type washing machine. Fiber release per washing and kg washed textile material were determined according to the results of the gravimetric analysis. According to the results, cotton textile materials have a higher shedding tendency than synthetic polyester materials. Fiber release varied from 13.1 mg/kg to 15.66 mg/kg depending on % blend of washed textile materials. Most of the fibers were trapped with 100 µm filter, suggesting most of the fibers released from washing in the range of 100-200 µm.

Keywords: Microplastic, Release, Domestic, Washing.

Evsel Çamaşır Yıkamadan Oluşan Mikroplastik Salınımı

Öz

Plastikler, insanlar tarafından çok çeşitli materyallerde kullanılır. Son zamanlarda çeşitli çevre bileşenlerinde birincil ve ikincil mikroplastiklere global ölçekte rastlanmaktadır. Mikro fiber, yaygın mikroplastik tiplerinden birisidir. Mikrofiberlerin tekstil materyallerinin yıkanmasından salındığı bilinmektedir. Salınan mikrofiber miktarı, yıkama koşulları ve fiber karakteristiğine göre değişir. Mikroplastikler sucul organizmalar için zararlı olabilmektedir. Bunun yanında, mikroplastiklerin uzun dönem etkileri bilinmediğinden, gelecekte mikroplastikten kaynaklanabilecek durum tahmin edilemez durumdadır. Bu sebeple, bu çalışmada evsel çamaşır yıkama işleminden salınan mikroplastığın değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Evsel tip çamaşır makinesi ile 5 yıkama döngüsü çalışılmıştır. Gravimetrik analiz sonuçlarına göre, yıkama başına ve yıkanan kilogram tekstil başına fiber salınımı belirlenmiştir. Sonuçlara göre, koton tekstil materyali, sentetik polyestere göre daha fazla dökme eğilimi göstermektedir. Fiber salınımı yıkanan tekstil materyalinin % karışımına bağlı olarak 13.1 mg/kg ile 15.6 mg/kg arasında değişmektedir. Tutulan fiberlerin büyük bir kısmının 100 µm filtre ile tutulması, fiberlerin çoğunun 100-200 µm aralığında olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Salınım, Evsel, Yıkama.

* Corresponding Author: sunacelik@nku.edu.tr

1. Introduction

Plastic production has rapidly increased since 1950's and has nowadays reached to 368 million tons capacity (Plastics Europe, 2020). Plastics have been used by human beings in a wide variety of materials since it was invented. Although some plastic products are recycled at the end of their useful life, significant amount of plastics have become waste. Thus, plastic wastes are encountered in different part of the environment; even it disposed properly. Plastic pollution causes harmful effect on human and other living beings, affects all organisms via food chain (Akçay et al., 2020).

Microplastics can be expressed as plastic particles that are smaller than 1 mm (Browne et al. 2007). One of the common microplastic type is fibers which are encountered in the environment, originating from textile materials. It is determined that 35 % of microplastics in the oceans are fiber type plastics (Boucher & Friot, 2017). Synthetic microfiber ingestion was shown to increase the mortality of living organisms such as *Daphnia magna* (Jemee et al., 2016).

Textile industry is a growing market depending on global demand for textiles. Synthetic fibers are more durable, less expensive and have good elasticity. As a consequence of these advantages, usage of synthetic fiber in textile production is common. Since textile production increases on global scale, released microfibers from textile materials will increase, inevitably. Moreover, since plastics are essential to modern life, it seems the human beings can't give up plastic usage. The characterization and release mechanism of microfibers are not clearly understood, yet. Moreover, long term effects of microplastics are also not clear. Manufacturers use microbeads to provide scrubbing effect to some personal care products such as toothpastes, body scrub, exfoliators etc. Microbeads contain small microplastics. Several countries, such as USA, Canada, United Kingdom, Sweden, France and Taiwan have banned microbeads in personal care products thanks to the improvement of awareness on environmentally friendly products (Davvergne, 2018). As the studies on microplastics increase, the precautions, which can be taken, will be implemented to minimize the risk, in future.

Some of the studies about fiber type microplastic investigate the effect of washing conditions and production processes such as cutting, sewing etc. on fiber release (Cai et al., 2020; Zambrano et al., 2021; Sait et al., 2021, Fontana et al., 2020; Almroth et al., 2018), while others investigate the impact of fiber type on fiber release (Galvao et al., 2020; Karkkainen & Silanpaa, 2021, Napper & Thompson, 2016, De Falco et al., 2018). Cai et al. (2020) studied release of microfibers from 12 different textile materials. It is found in this study that microfiber release was varied from 210 to 72000 microplastic/g textile material. They revealed that cutting method has significant impact on fiber release (Cai et al., 2020). Fontana et al. (2020), used 100% polyester textile material to investigate fibre releasing during 3 different washing conditions. Released fibres were filtered through 40 µm filter and removed fibres were determined milligram microfiber per kilogram textile materials in their study. According to the results, it was concluded that microplastic release were depended on fibre structure and washing conditions. It is also found in this study that soft washing conditions gave lower microplastic release. Karkkainen

& Silanpaa (2021) quantified the release of different fibres originating from washing and drying activity. They used two commercial fibre traps to investigate the removal efficiency of microfibre release from polyester, polyamide and polyacryl textile. According to the results two commercial fibre traps removed only 39 % and 10 % of polyester fibres from washing effluent. The mass of the trapped fibres were varied from 10 to 1700 mg/kg for first drying activity. The mass of released fibre decreased during sequential washing and drying activities.

The situation about microplastic release from washing activities is still unclear. As it shown from the examples, the amount of released fibre varied due to experimental conditions. As a first study conducted in Turkey, in this study 5 different washing cycles were studied in the view of fibre release in domestic type washing conditions. Washing effluent was sequentially filtered through 200 µm, 100 µm, 50 µm and 5 µm, polypropylene filters and fibre release was determined as % weight of released fibres. Thus, it is aimed to reveal the size distribution of released fibres from washing of textile materials.

2. Material and Method

2.1. Compositons of the Washing Cycles

The composition of the 5 washing cycles in terms of % blend ratio of the textile fibre type, and the weight of the each textile materials were determined, before washing experiments. The detailed compositions are given at Table 1. Blend ratios of each washing experiment differed in terms of % cotton and polyester. The dominant fibre type was cotton in the first washing experiment, while it was polyester in the second experiment. Thus, it is aimed to investigate the impact of % ratio of fibre blend on fibre release, as well.

2.1.1. Washing Conditions

Bosch Max7 Vario Perfect/WAE20464TR laundry machine was used for the experiments. Load of washing was kept constant at 2 kg (\pm 0.1) to provide much easier comparison conditions of washing cycles. Performed washing program was selected as "Mix" with Speed Perfect acceleration. Washing temperature, the rotational speed of the tumble and washing duration were 40 °C, 1000 r/min., 53 minute, respectively.

Prior the each washing experiment, washing machine was operated empty in the "Super Fast" program, during 15 minute. In the "Super Fast" program, the washing temperature and rotational speed of the tumble were 40 °C and 1000 r/min. After each washing experiment, washing effluent was drained in 60 litre of volume polyethylene container. Three 500 milliliters of samples were taken from stirred effluent, simultaneously. Then, these three samples were mixed and 250 milliliter volume of sample was taken and used for each washing cycle. Samples were filtered immediately after sampling, through 200 µm, 100 µm, 50 µm and 5 µm polypropylene filters. Filters were dried at 105 °C during 30 minute, then cooled to room temperature at dessicator in petri dishes and weighted immediately with KERN ABS 120-4 analytical balance. The mass of the fibres on the filter were calculated and recorded.

Table 1. Composition of the textile materials washed

Washing No	Composition	Total weight (g)	Fiber type %	Synthetic %	Synthetic weight (g)
1	2 jumpers 3 sweatshirts 1 vest 2 sportswear	2068	Cotton 60 % Polyester 40 %	40	827
2	1 jumpers 3 sweatshirts 4 tshirts 2 shirts 1 sportswear	2047	Cotton 40 % Polyester 60 %	60	1228
3	1 blanket 1 table mat 1 vest	2101	Polyester 100%	100	2101
4	2 bed sheet	2085	Cotton 100 %	0	0
5	1 blanket 1 bed sheet	2106	Cotton 70% Polyester 30%	30	632

3. Results and Discussion

3.1. Retained Fibre Variation for Varying Filter

According to the results of the gravimetric analysis, retained fibres from five washing experiments were given in Figure 1. As shown from Figure 1, 100 µm filter gave the highest fibre removal in all washing experiments. The amounts of retained microfiber through 200 µm were close to the amount of the retained microfiber by 100 µm filter. Released fibre per liter of washing effluent was calculated by dividing the amount of the microfiber retained in the filter, into effluent sample volume and given in Table 2 as mg/l. Total removed fibre per washing varied between 3.28 mg/l and 3.91 mg/l for five washing experiments.

3.2. The Effect of % Blend on Fibre Release

As can be seen from Table 2, the highest amount of fibre released from 4th washing. Textile materials, washed in this experiment contain 100 % cotton, while Washing 3 contains 100 % polyester textile material. Second highest fibre released in 5th washing experiment. Similarly, cotton blend ratio was higher than the others in this washing experiment. Washing experiment 2 gave the lowest fibre release.

Released fibre depends on washing conditions, such as washing load, tumble rotation rate, temperature, detergent, softener etc. Shedding characteristics of textile materials also depend on fiber type, fabric structure, etc. Additionally, new clothes release relatively more microfibers than older clothes (Sillanpaa & Sainio, 2017; Kelly et al., 2019; Cesa et al., 2020; Belzagui et al., 2019). However, because the study aimed to compare fibre release under the same washing conditions, these parameters were not varied in this study. Therefore, variation in shedding performances possibly was resulted from fiber type and fabric structure.

Total release of fibre (mg/kg) per washing experiment was determined for washing 3 (100 % polyester) and Washing 4 (100 % cotton) to compare the results with other studies in the

literature (Table 3). Total release of fibre (T, mg/kg) per washing experiment can be calculated by using the following equation:

$$T = \frac{F \times E}{W} \quad (1)$$

Where F is the retained microfiber by filter, E is the effluent volume, and W is the total weight of the washed textile material.

Washing effluent was 32 liter in all experiments. Variation of the total release of fibre per washing experiment was evaluated also in the view of filter size (Figure 2). As shown from Figure 2, 100 µm filter gave the highest fibre removal in all washing experiments. Additionally, as it can be seen from Table 2, total fiber per washing was 15,66 mg/kg for Washing 4, while it was found 13.27 mg/kg for Washing 3.

Some researchers used different methods and admitted some factors to calculate the total release from microplastic such as length and density of fiber. But accuracy of these admits is worth discussing. Although, our results are relatively lower than some previous studies (Boucher and Friot, 2017), the results are in line with Belzagui et al. (2019) and Sillanpaa & Sainio (2017). According to the results, cotton textile materials have a higher shedding tendency than synthetic polyester materials. The higher the % blend of cotton, resulted in higher fibre release. Sillanpaa and Sainio (2017), also reported cotton textile materials have a higher shedding tendency than others. Our results are in accordance with Sillanpaa & Sainio (2017).

Combining polyester with cotton in textile material, results in strengthened and durable material. Additionally, polyester blending with cotton reduce costs (Baykal et al., 2006). Therefore polyester was used frequently blended with other fabrics. However, it is stated in the study conducted by Napper & Thompson (2016) that significantly lowers fibres were released from polyester-cotton textile material, than 100% polyester and 100% acrylic textile materials. Therefore, our results are not in accordance with this study.

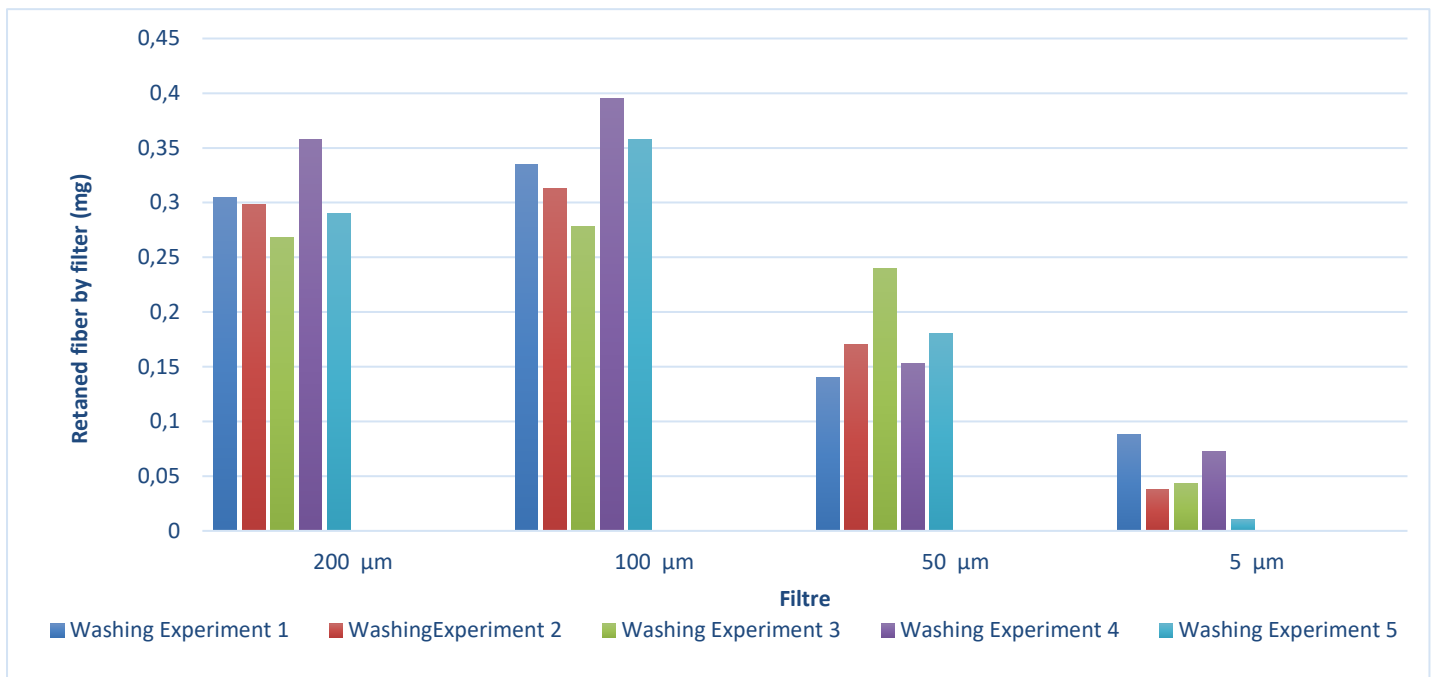


Figure 1. Retained fibres by filter in washing experiments

Table 2. Released fibre (mg/l)

Washing No	Filtered Microfibre (mg/l)				Total (mg/l)
	200 µm	100 µm	50 µm	5 µm	
1	1,22	1.34	0.56	0.35	3.47
2	1.19	1.25	0.69	0.15	3,28
3	1.07	1.11	0.96	0.17	3.31
4	1,43	1.58	0.61	0.29	3,91
5	1.16	1.43	0,72	0.41	3.72

Table 3. Released fibre (mg/kg)

Washing Experiment	Retained Fiber (mg/kg)				
	1	2	3	4	5
200 µm	4.88	4.77	4.29	5.73	4.64
100 µm	5.36	5.0	4.45	6.32	5.73
50 µm	2.24	2.72	3.84	2.45	2.88
5 µm	1.41	0.61	0.69	1.16	0.16
Total	13.89	13.1	13.27	15.66	13.41

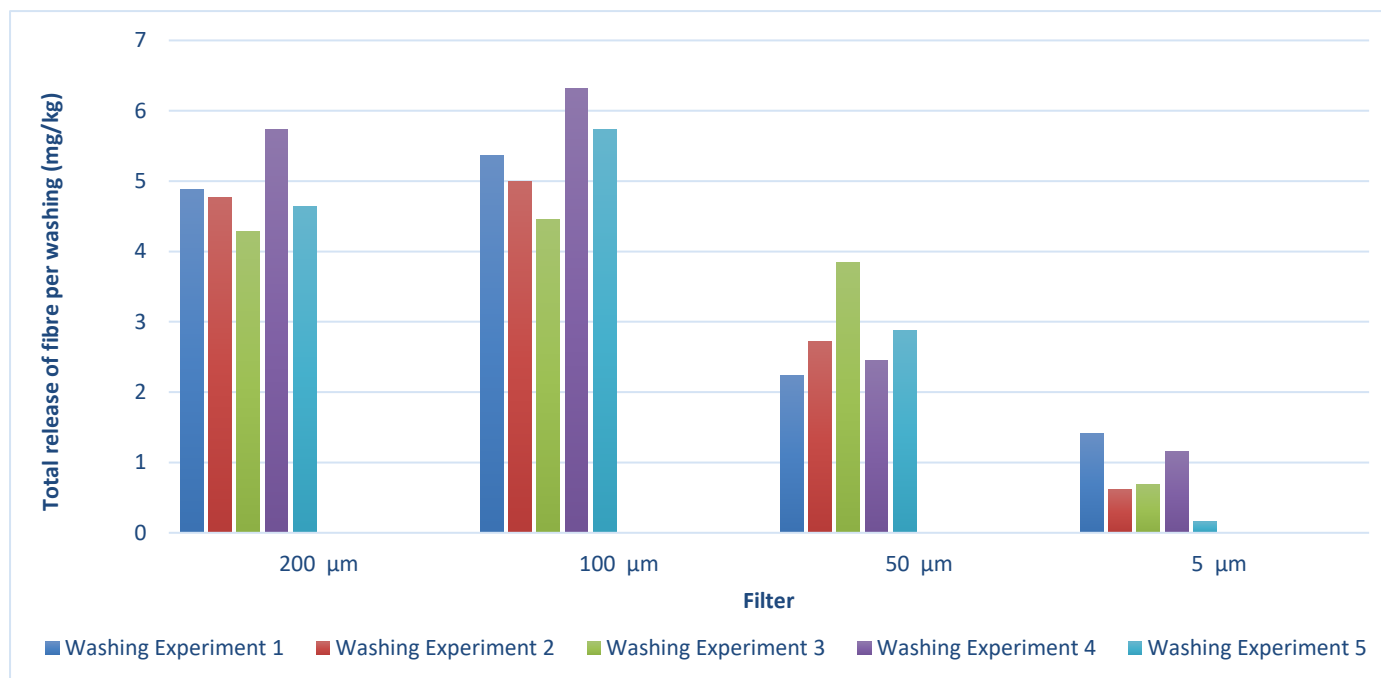


Figure 2. Total release of fibre per washing (mg/kg)

4. Conclusions and Recommendations

Microplastics are commonly encountered in different part of the environment. This study intended to evaluate the amount of the microplastic release from domestic laundry washing. In this way, it is aimed to give an idea about the measures that can be taken by revealing the situation regarding microplastics. Following conclusions can be drawn as a result of the research:

100 µm filtre gave the highest fibre removal in all washing cycles. The amounts of retained microfiber through 200 µm were close to amount of the retained microfiber by 100 µm filter. Total removed fiber per washing varied between 3.28 mg/l and 3.91 mg/l for five washing cycles.

The highest amount of fibre released from 4th washing. Textile materials washed in this experiment contain 100 % cotton. Washing cycle 2, which contains 40% cotton and 60% polyeser blend, gave the lowest fibre release. Total fibre per washing was 15.66 mg/kg for Washing 4, while it was found 13.27 mg/kg for Washing 3. The higher the % blend of cotton, resulted in higher fibre release. Although cotton is not as persistent as synthetic fibre in environment, it may contain chemical residues and plays important role in the transport of the pollutants. Further studies must be conducted to investigate the effect of washing conditions such as used detergents, softener, washing temperature, tumble rotation rate etc., in addition to textile production processes such as cutting, sewing etc. Moreover, textile manufacturers should consider these effects on microplastic release to maintain sustainable and environmentallyfriendly textile production.

References

- Akçay, S., Törnük, F. & Yetim, H. (2020). Mikroplastikler: Gıdalarda bulunuşu ve sağlık üzerine etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 530-538.
- Almroth B.M.C., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H, Johansson, M. & Persson, N.K. (2018), Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 1191–1199.
- Baykal, P. D., Babaarslan, O. & Erol, R. (2006). Prediction of strength and elongation properties of cotton/polyester-blended OE rotor yarns, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 14 (1) (55), 18-21.
- Belzagui F, Crespi M, Álvarez A, Gutiérrez-Bouzán C. & Vilaseca M (2019) Microplastics' emissions: microfibers' detachment from textile garments. *Environmental Pollution* 248, 1028–1035.
- Boucher, J. & Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: A Global evaluation of sources. Gland, Switzerland: IUCN. 43 pp.
- Browne, M., Galloway, T. & Thompson, R. (2007). Microplastic-an emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Management and Assesment*, 3, (4), 569-561.
- Cai, Y., Yang, T., Mitrano, D.M., Heuberger, M., Hufenus, R. & Nowack, B. (2020). Systematic study of microplastic release from 12 different polyester textiles during washing, *Environmental Science & Technology*, 54 (8), 4847–4855.
- Cesa, F.S., Turra, A., Checon, H. H, Leonardi, B. & Baruque-Ramos, J. (2020). Laundering and textile parameters influence fibers release in household washings. *Environ Pollut* 257:113553.
- Davvergne, P. (2018). The power of environmental norms: marine plastic pollution and the politics of microbeads. *Environmental Politics*, 27 (4), 579-597.

- De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., Brouta-Agnesa, M., Rovira, A., Escudero, R., Villalba, R., Mossotti, R., Montarsolo, A., Gavignano, S., Tonin, C. & Avella, M. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics, *Environmental Pollution*, 236, 916-925.
- Fontana, G.D., Mossotti, R. & Montarsolo, A. (2020). Assessment of microplastics release from polyester fabrics: The impact of different washing conditions, *Environmental Pollution*, 264, 113960.
- Galvao, A., Alexio, M., Pablo, H.D., Lopes, C. & Raimundo, J. (2020). Microplastics in wastewater: microfiber emissions from common household laundry, *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 26643-2649.
- Jemee, A., Horvat, P., Kunej, U., Bele, M. & Krzan, A. (2016). Uptake and effects of microplastics textile fibers on freshwater crustacean *Daphnia Magna*. *Environmental Pollution*, 219, 201-209.
- Karkkaian, N. & Sillanpaa, M. (2021). Quantification of different microplastic fibres discharged from textiles in machine wash and tumble drying, *Environmental Science and Pollution Research*, 2, 16253-16263.
- Kelly MR, Lant NJ, Kurr M & Burgess JG (2019) Importance of water-volume on the release of microplastic fibers from laundry. *Environmental Science and Technology* 53(20), 11735–11744.
- Napper, I.E. & Thompson, R.C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1-2), 39–45. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.09.025.
- Plastics, The Facts (2020). An analysis of European plastics production, demand and waste data, Plastics Europe, Association of Plastics Manufacturers.
- Sait, S.T.L., Sorenson, L., Kubowicz, S., Vike-Jonas, K., Gonzalez, S. V., Asimakopoulos, A. G. & Booth, A. M. (2021). Microplastic fibres from synthetic textiles: Environmental degradation and additive chemical content, *Environmental Pollution*, 268 (B), 115745.
- Sillanpaa, M.K. & Sainio, P. (2017). Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washing, *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 19313-19321.
- Zambrano, M. C., Pawlak, J. J., Daystar, J., Ankeny, M. & Venditti, R. A. (2021). Impact of dyes and finishes on the aquatic biodegradability of cotton textile fibers and microfibers released on laundering clothes: Correlations between enzyme adsorption and activity and biodegradation rates, *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112030.



Bulaşık Makinelerinde Oluşan Plastik ve Gıda Kaynaklı Kokuların Head Space GC-MS İle Tespiti

Canan Ekinci Doğan*

* TÜBİTAK MAM Gıda Enstitüsü, Gebze, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6817-3392), Canan.Dogan@tubitak.gov.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 22 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.955285)

ATIF/REFERENCE: Ekinci Doğan, C. (2021). Bulaşık Makinelerinde Oluşan Plastik ve Gıda Kaynaklı Kokuların Head Space GC-MS İle Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 796-801.

Öz

Son yıllarda çelik tabanlı bulaşık makinelerinin göreceli olarak daha maliyetli olması sebebiyle üreticiler, çelik yerine kullanılacak plastik malzemeler üzerine yoğun araştırmalar yapmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda maliyeti düşük, katkılı polietilen ve polipropilen gibi malzemeler çelikten yapılmış tabanların yerine geçmeye başlamıştır. Ancak petrol ürünü olan plastik malzemelerin doğal olarak içerdiği moleküller bulaşık makinelerinin içerisine istenmeyen koku yayarak tüketici tercihini azaltmaktadır. Bu çalışmanın amacı bulaşık makinelerinin tabanlarında kullanılmak üzere üretilmiş plastik tabanlarda yıkama esnasında oluşan plastik ve gıda kaynaklı kötü kokuların tespit edilmesidir. Çalışmada kalsiyum içeren polipropilen plastik tabanlı (Caplastik) ve talk içeren plastik tabanlı (Talkplastik) bulaşık makineleri, karşılaştırma yapılabilmesi için de çelik taban (Çelik) bulaşık makinesi kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarında düşük sıcaklıklarda Caplastik tabandan 2,2,3,3-tetrametil bütan ve 2-pentadekanol bileşikler açığa çıkmıştır. talk-plastik malzemeden ise yüksek sıcaklıklarda dimetildiazon, 4-metil oktan, 4,7-dimetilundekan ve 5,8-dietildodekan bileşiklerinin yayıldığı tespit edilmiştir. Gıdalarla kirletildikten sonra yapılan çalışmalar da plastik kaynaklı olarak tetrametilbütan, 2-pentadekanol, dimetildiazon, 4-metil oktan, 4,7-dimetilundekan, 5,8-dietildodekan ve dioksalan bileşikler tespit edilmiştir. Ancak çelik tabanlı bulaşık makinesinde diğer ikisinden farklı olarak gıda kaynaklı moleküller tespit edilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plastik Taban, Polipropilen, GC-MS, Gıda, Kötü Koku, Bulaşık Makinesi.

Plastic and Food Based Taints and Off-Odours Detection in Dishwashers

Abstract

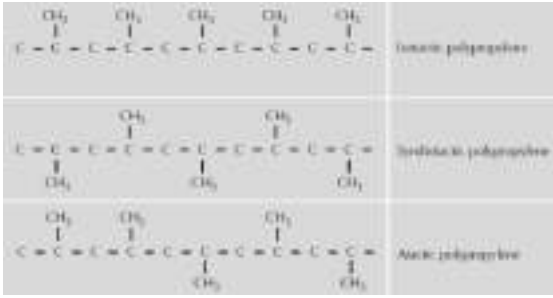
In recent years, due to the relatively more costly cost of steel-based dishwashers, manufacturers have been conducting intensive research on plastic materials instead of steel. As a result of the research studies, low-cost and additive polyethylene and polypropylene materials have begun to replace steel bases. However, the molecules naturally contained in plastic materials, which are petroleum products, reduce the consumer preference by emitting an undesirable odour inside the dishwashers. The aim of this study is to determine the plastic and food-borne off taints or unwanted odors that occur during washing on plastic based produced for use on the base of dishwashers. In the study, calcium-containing polypropylene plastic-based (Caplastic) and talc-containing plastic-based (Talplastic) dishwashers, and steel-based (Steel) dishwashers were used for comparison. In the results of the study, In the results of the study, 2,2,3,3-tetramethyl butane and 2-pentadecanol compounds were released from the Caplastic base at low temperatures. Dimethyldiazon, 4-methyl octane, 4,7-dimethylundecane and 5,8-diethyl dodecane compounds were detected to diffuse from the talc-plastic material at high temperatures. In studies carried out after contamination with food, tetramethylbutane, 2-pentadecanol, dimethyldiazon, 4-methyl octane, 4,7-dimethylundecane, 5,8-diethyl dodecane and dioxalan compounds were detected as plastic origin. However, unlike the other two, food-borne molecules could be detected in the steel-based dishwasher.

Keywords: Plastic, Polypropylene, GC-MS, Food, Taints and Off-Flavours, Dishing Washer.

* Sorumlu Yazar: Canan.Dogan@tubitak.gov.tr

1. Giriş

Polipropilen plastikler, termoplastikler sınıfında yer alan poliolefinlerin bir türü olan, düşük fiyat ve geniş uygulama alanları ile en çok tercih edilen polimerik malzemelerdendir. Bu malzeme ağırlıklı olarak otomotiv sektörü, gıda ambalajları, lamineli filmler ve optik uygulamalar olmak üzere pek çok sektörde doğrudan veya çeşitli katkı maddeleri ile fonksiyonel hale getirildikten sonra yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye plastik sektörü raporuna göre (PAGEV, 2017), ülkemizde 2018 yılı içinde PETKİM tarafından 137 bin ton polipropilen plastik malzeme üretildiği ve aynı yıl ithal ettiğimiz polipropilen miktarının da yaklaşık 2.243 bin ton civarında olduğu raporlanmıştır. Poliolefinler karbon ve hidrojen atomlarından oluşur ve aromatik yapıda olmazlar. Genellikle ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama (injection moulding), blow ve rotational kalıplama metotları ile işlenmektedir. Bütün poliolefinlerin doğal özelliği onların polar ve gözeneksiz, özel yükseltgenme ön işlemleri yapılmadan boya ve lakları kabul etmeyen düşük enerjili yüzeye sahip olmasıdır. Polipropilenler üç ana temel polimerik oluşuma sahiptir: isotaktik, sindiyotaktik ve ataktik. Şekil 1’de polipropilenin polimerik formları gösterilmiştir.



Şekil 1. Polipropilenin polimerik formları

Plastiklerin işlenebilmesi ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilebilmesi için organik ve inorganik katkı maddeleri polimerlere ve yardımcı plastiklere katılmaktadır (Avrupa Plastik üreticileri birliği, 2008; Anderson vd.,2004; Tolinski, 2015). Bu yeni katkılı plastikler yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında içeriğinde bulunan kimyasalların bozunması sebebiyle koku molekülleri açığa çıkmaktadır. Ancak, kokuya sebep olan bu moleküllerin veya plastiklere ilave edilen katkı maddelerinin, plastiklerin temas ettiği gıda gibi yaşamsal ürünlerin organoleptik özelliklerini değiştirmemesi ve yapılarını bozmaması yasal olarak gereklidir (TGK, 2019/44; EU, 1935/2004).

Plastiklere ilave edilen katkı maddeleri içerisinde en çok kullanılan kaydırıcı ajanlar oleamid ve erukamid gibi yağ asidi amidleridir (Molnar, 1974, Bart, 2006, Murphy 2001, Brody vd, 2008.). Birkaç mikron partikül boyutuna sahip killer de (talk gibi) parçacık yapıcı dolgu maddeleri olarak kullanılmaktadır. Ayrıca TiO₂ ve CaCO₃ gibi inorganik bileşikler de beyaz plastik üretmek için polimerlere katılabilmektedir. Dolgu maddesi olarak CaCO₃ gibi bazı inorganiklerin plastiklere katılması, plastiklerin dayanım etkisi ve termal dayanıklılık gibi özelliklerini geliştirmekte ancak sertlik ve gerilim dayanıklılığını azaltmaktadır (Nwabanma ve Kyu 2008). Ayrıca polimerik matriksler ile bir araya getirilen inorganik katkılar bitmiş üründe rengin koyulaşmasına sebep olmakta ve polimer yapısında küçük molekül ağırlıklı bileşikler oluşabildiği için istenmeyen kokulara da sebep olmaktadır. Bunun yanında, katkılı plastiklerin degradasyonu sebebiyle göreceli yüksek sıcaklıklarda farklı

bozunma ürünleri oluşmakta bu oluşan ürünlerde istenmeyen plastik bazlı kokulara sebebiyet vermektedir (Austin, 1990, Mottarm, 1998, Sajilata vd. 2007, Baigrie, 2003). Oluşan koku, kapalı ortamda yandığı zaman hayvansal veya bitkisel bozunma ürünlerine benzeyen tuhaf koku/tat veya “empyreuma kokusu” olarak tanımlanmaktadır (Villberg ve Veijanen 2001).

Plastik malzemeler içerisindeki kötü/istenmeyen koku bileşiklerinin varlığı koku veya aromadaki değişimlerden anlaşılabilir. Birçok molekül kokuya sebep olabilir ancak düşük konsantrasyondaki kokuları insan duyuları algılayamaz. Bu sebeple, enstrümantal cihazlar ile kötü veya istenmeyen kokuların tespiti yoğun çalışmaların sürdürüldüğü araştırma konularından biridir (Canellas ve ark., 2010; Hopfer vd.,2010,Mottarm, 1998, Eiceman vd., 2002, Vilberg vd., 1997). Genellikle koku analizleri iki şekilde yapılmaktadır:

- 1.) Kokuya sebep olan ve bilinen bileşikler uygun cihazlar ile tespit edilir.
- 2.) Kokuya sebep olan ve bilinmeyen bileşiklerin tespitinin yapılabilmesi için enstrümantal cihazlar ile farklı yöntemlerin kullanılması gerekebilir.

Çeşitli ortamlarda doğal olarak bulunan veya oluşan kötü kokulu bileşiklerin analizlerinde çeşitli analitik teknikler kullanılmaktadır. İlk zamanlarda kullanılan tekniklerin başında çözücülerin kokuları içerisine hapsetme performansına dayanan sıvı-sıvı ekstraksiyon, buhar destilasyonu veya buhar destilasyonu ile çözücü ekstraksiyonunun birleştirildiği ekstraksiyon teknikleri gelmiştir (Kolb vd., 2006). Daha sonraki çalışmalarda kapalı ortamda yapılan sabit ve hareketli headspace sistemleri öne çıkmıştır. Bu yöntemleri takip eden ve koku analizlerinde kullanılan metotlardan biri katı faz üzerinde mikroekstraksiyondur (SPME) (Dutra vd., 2011, Ezquerro vd. 2002, Espert vd.,2005, Hodgson vd., 1998). En son geliştirilen metot da GC-MS’e olfaktometrinin bağlantılı hale getirildiği ve yine SPME fiberlerinin kullanıldığı ve elektronik burun ile stir bar sorptive ekstraksiyon teknikleridir (Kolb vd., 2006, Ridgway vd., 2010.).

Son yıllarda tüketicilerin daha bilinçli olması ve plastik üretimindeki artan mevzuatların uygulanma gereksiniminden dolayı plastik üreticileri ürünlerinde yer alan bileşiklerinin ne olduğunu bilmeye ihtiyaç duymaktadırlar. Özellikle istenmeyen koku içeren plastik malzemeler tercih edilmemektedir. Plastik kaynaklı kötü kokulu bileşikler içeren plastik malzemelerin kullanıldığı ürünlerde tüketici tercihini azalttığı da bilinmektedir. Bunun yanında, poliolefinlerdeki kötü kokulu bileşikler özellikle gıda ile temas eden ortamlarda malzeme kalitesinde risk oluşturmaktadır.

Bu çalışmada maliyet sebebiyle tercih edilen iki farklı bileşimden oluşan Ca-plastik ve Talk-plastik tabanlı bulaşık makinesi ile çelik tabanlı bulaşık makinesi yıkama protokolleri yapıldıktan sonra içeride kalan plastik ve gıda kaynaklı kötü kokular karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar klasik çelik taban bulaşık makinesine göre yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar

Plastik malzemelerin tanımlanmasında Perkin Elmer marka ATR-FT-IR kullanılmıştır. Malzemelerdeki koku analizlerinde Perkin Elmer marka GC-MS Turbo Matrix 40 Trap Headspace örnekleyici, Perkin Elmer marka Clarus Gaz Kromatografisi ve detektör olarak da Clarus 600 T Kütle Spektrofotometrisi

kullanılmıştır. Kolon olarak Elite 5-MS (Metilpolisiloksan (5% fenil)- 30 m; 0.250 I.D., 0.25 µm) ve Wax (PEG-60 m, 0.250 I.D., 0.25 µm) kolonları kullanılmıştır. GC-MS ve Headspace şartları Tablo 1’de yer almaktadır. Organik çözücüler GC saflıkta kullanılmıştır. Kullanılan SPME fiber 100 µm polidimetilsiloksan kaplama ve 65 µm divinil benzen yapısındadır. Plastik ve çelik tabanlı bulaşık makinesi Arçelik, talk katkılı plastik taban Bosch markadır.

2.2. Malzeme Analizleri

Deneysel çalışmada ve bulaşık makinelerinin (CaCO₃ katkılı polipropilen – Caplastik ve talk katkılı polipropilen - talkplastik) tabanında kullanılan malzemeler piyasadan temin edilmiştir. Bu çalışmada beş farklı polipropilen malzeme karşılaştırılma amacıyla kullanılmıştır. Bu malzemeler CaCO₃ katkılı polipropilen malzeme (CaPlastik), talk katkılı polipropilen malzeme (TalkPlastik), homopolimer malzeme, kopolimer malzeme, kokusuz polipropilendir. Tablo 2’de headspace (HS) koşulları verilmiştir.

2.3. Plastik Malzemelerde Koku Analizleri

Bütün malzemelerin koku analizleri için gaz kromatografisi tekniği kullanılmıştır. Çalışmalar 2 gruba ayrılmıştır. 1.Grup çalışmalarda: Polipropilen malzemeler farklı sıcaklık ve sürelerde head space viallerinde bekletilerek (Tablo 2) malzemelere ait GC toplam iyon kromatogramları elde edilmiştir. 2.Grup çalışmalarda: 50 ve 70 °C’lerde bulaşık makineleri çalıştırılarak adsorpsiyon testleri yapılmıştır. Bu çalışmaya göre, İki farklı yıkama programı koşulunda (ekonomi 50 °C ve Yoğun 70 °C programı) her 3 bulaşık makinesinde (CaPlastik, TalkPlastik ve Çelik Taban) temiz yıkama ve kirli yıkama yapılmıştır. Çalışmalarda koku analizlerinin yapılabilmesi için SPME fiber kullanılmıştır. SPME fiber 1 saat bulaşık makinesinin içinde bekletilerek koku molekülleri tutulmuş ve akabinde GC’ye enjekte edilmek suretiyle desorpsiyon işlemi yapılmıştır. Çalışma sonucunda koku moleküllerine ait toplam iyon kromatogramları elde edilmiştir. İki farklı sıcaklıkta yapılan program altta anlatılmıştır:

Temiz Yıkama çalışmasında amaç, seçilen bulaşık makinelerinde temiz yıkama yapılması ve içeride temiz yükün bekletilmesi durumunda koku oluşumunun ve onun tespitinin yapılmasıdır.

Çalışmanın birinci haftasında, bütün bulaşık makinelerinin başlangıç durumlarına ait örnekleri SPME ile alınmıştır. Bu örneklerin ardından bulaşık makinelerinde temiz yükler ile yıkamalar yapılmış, program sonunda ve 24 saat sonunda SPME ile örnekleri alınmış ve GC kromatogramları elde edilmiştir. Makinelerde ikinci kez temiz yükler ile yıkama yapılmış yine program sonunda ve 48 saat sonunda SPME ile örneklerin alınmıştır. Makineler 1 hafta daha bekletilmiş ve SPME ile örnekler alınmıştır.

Kirli Yıkama çalışmasında amaç bulaşık makinelerinde kirli yüklerin bekletilmesi ve ardından yıkama yapılması durumunda koku oluşumunun tespitinin yapılmasıdır. Burada bulaşık makineleri kirli yükler ile yüklenmiş, makineler 3 gün boyunca bekletilmiş ve 12 saat aralıklarda SPME ile örnek alınmıştır. Makinelerde yıkama yapılmıştır. Program sonunda ve 24 saat sonunda SPME ile örnekler alınarak kromatogramlar elde edilmiştir.

Tablo 1. GC-MS ve Headspace koşulları

Headspace	TurboMatrix 40 Trap
İğne T	90 °C
Transfer line T	100 °C
Fırın T	80 °C
Trap’ın en düşük T	40 °C
Trap’ın en yüksek T	280 °C
Trap’te tutma süresi	6 dak.
Isıtma süresi	60 dak.
Basınçlandırma süresi	1 dak.
Basıncı kaldırma süresi	2 dak.
Kolon basıncı	25 psi
Vial basıncı	10 psi
Transfer line	Fused silika1mx 320µm
GC	Clarus 600
Enjektör T	200 °C
Sıcaklık Programı	Fırın T:35 °C (5 d); 3 °C /d; 160 °C(15 d)
Taşıyıcı Gaz	Helyum
Taşıyıcı Gaz Akış Hızı	1.0 mL/dak
Split oranı	splitless
MS	Clarus 600 T
MS İyonizasyon Voltajı	70 eV
MS İyon Kaynak T	200 °C
MS tarama aralığı	33-350 a.m.u.
Elektron çoğaltıcı voltajı	350V
Tarama zamanı	0.25 saniye
Tarama arası bekleme zamanı	0,05 saniye

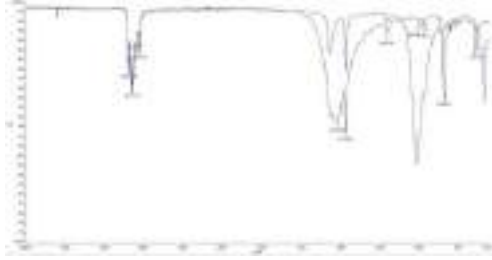
Tablo 2. HS koşulu (sıcaklık ve bekletme süresi parametresi)

Numune	Sıcaklık (°C)	Bekletme süresi (saat)
Tüm numuneler	40	1,5
Tüm numuneler	45	1,5
Tüm numuneler	50	1,5
Tüm numuneler	60	1
Tüm numuneler	68	1

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Polipropilen malzemelerin tanımlanması ve Head Space GC-MS ile incelenmesi

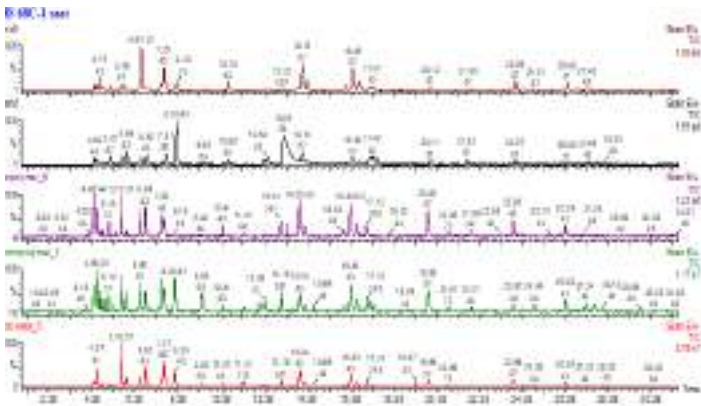
CaPlastik ve TalkPlastik malzemelerinin ATR-FT-IR ile spektrumları alınarak ve cihaz kütüphanesinde karşılaştırma yapılması suretiyle tanımlamaları yapılmıştır. Şekil 2'de polipropilen malzemelere ilişkin spektrum yer almaktadır. Sonuçta numuneler izotaktik polipropilen olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Polipropilen malzemelerin ATR-FT-IR spektrumu (Siyah çizgi: CaPlastik taban; Mavi çizgi: TalkPlastik taban)

3.2 Polipropilen malzemelerden yayılan koku bileşiklerinin GC-MS ile analizleri

Çalışma kapsamında CaPlastik taban, TalkPlastik taban, homopolipropilen, kopolipropilen ve kokusuz polipropilen malzemeler ile birlikte HS GC-MS'de farklı sıcaklık ve sürelerde (Çizelge 2.) bekletilmiştir. Çalışmalarda iki farklı kolon kullanılmış ancak 60 metrelik wax kolon koku çalışmalarında daha iyi sonuçlar vermiştir. Sonuçlarda head space ünitesinde sıcaklık arttıkça kokudan sorumlu moleküllerin hem sayıca hem de % olarak artış gösterdiği görülmüştür. Polipropilen numunelerinin 68 °C'de 1 saat bekletme yapıldıktan sonra GC kromatogramları elde edilmiştir ve sonuçlar Şekil 3.'de verilmiştir.



Şekil 3. 68°C'de 1 saat GC-MS HS ünitesinde bekletme sonucu elde edilen GC-MS toplam iyon kromatogramı (ARC 5: CaPlastik taban, BSH5: Talkplastik taban, kopolimer 5: kopolimer polipropilen, homopolimer 1: homopolimer polipropilen, odorless 5: kokusuz polipropilen)

Bu çalışmalar sonucunda koku molekülleri belirlenmiş ve literatüre göre tanımlanmıştır (Anderson vd., 2004; Hopfer vd., 2010; Canellas vd.,2010). Plastik malzemelerden adsorbanlara tutunan koku moleküllerinin; 2-metil-pentan, 2,2,3,3 tetrametil

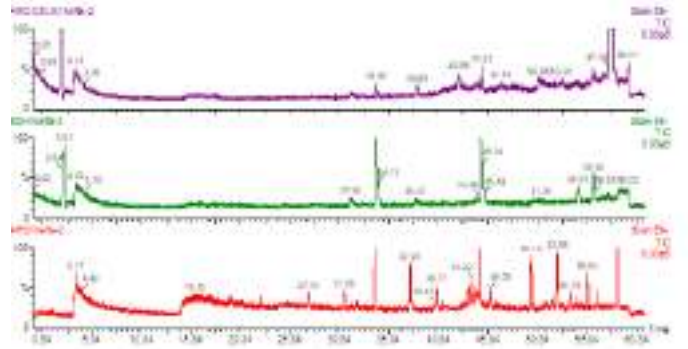
butan, 4-metil-oktan, etil alkol, 4,7-dimethyl undekan, 5,7-dimetil undekan, 2,3,6,7- tetrametil oktan bileşikleri olduğu görülmüştür. Bu bileşikler uçucu ve kokulu bileşikler olarak literatür ile de eşleştirilmiştir (Ezquerro vd.,2002; Austin, 1990; Mottarm, 1998).

3.3 Ekonomi 50 ve Yoğun 70 Programı ile Temiz Koşullarda Açığa Çıkan Koku Analizleri

İki farklı yıkama programı koşulunda (ekonomi 50 ve yoğun 70) her üç bulaşık makinesinde (Caplastik taban, Çelik taban ve talk plastik taban) temiz yıkama yapılmıştır. Burada birinci hafta her üç bulaşık makinesinin başlangıç durumlarına göre örnekler alınmıştır. İlk hafta, Makineler temiz yükler ile yıkanmış, ilk yıkama (1.yıkama) ve 24 saat sonra (2.yıkama) olmak üzere 2 kez ölçüm alınmıştır. Ardından makineler tekrar temiz yükler ile yıkanmış, ilk yıkama (3.yıkama) ve 48 saat sonra (4.yıkama) olmak üzere 2 kez daha ölçüm alınmıştır. İkinci hafta makineler bekletilmiş ve ikinci haftanın sonunda tekrar örnek (5. Ölçüm) alınmıştır.

Çalışmalarda kokuya sebep olan moleküllerin analizlerinin yapılabilmesi için SPME fiber kullanılmıştır. SPME fiber 1 saat bulaşık makinesinin içinde bekletilerek içeride bulunan koku molekülleri fibere adsorplanmış ve GC'ye enjekte edilmek suretiyle desorpsiyon işlemi yapılmıştır. Koku moleküllerine ait GC toplam iyon kromatogramları elde edilmiştir.

Şekil 4.'deki toplam iyon kromatogramına göre 1 hafta bekletildikten sonra, bulaşık makinelerinin temiz koşulda (ekonomi 50 programında) ölçülen bileşikler dodekan, dioksalan, heksilheptadekan ve oktadekadiyonik asit metil esteridir.

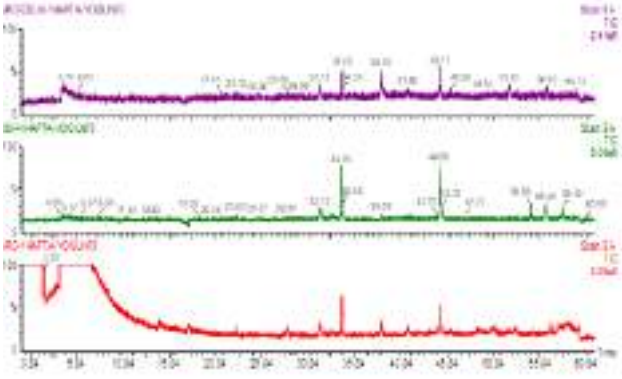


Şekil 4. Ekonomi 50 programında bulaşık makineleri 1 hafta bekletildikten sonra elde edilen temiz yıkama sonuçlarına ilişkin GC-MS Kromatogramı (üst Çelik taban, orta Talk-Plastik taban ve alt Ca-Plastik Taban).

Şekil 5.'deki kromatograma göre de 1 hafta bekledikten sonra bulaşık makinelerinin temiz koşulda (yoğun 70 programında) bulunan bileşikler oluşan/azalan pikler dioksalan, Heptanal, Hekzilheptadekan, Okzaik asit, Disikloetanol, Oksiren-2-bütül-3-metil, Oktadekadiyonik asit metil ester, 4-morfolinetanamin'dir.

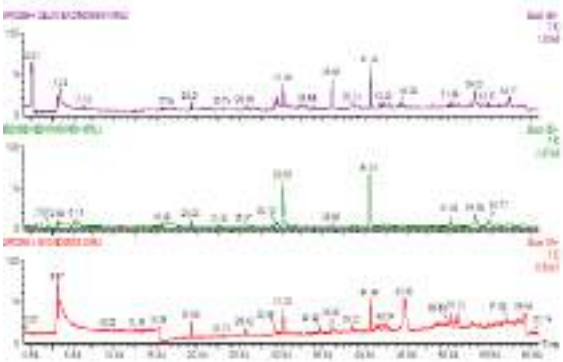
3.4 Ekonomi 50 ve Yoğun 70 programı ile Kirli koşullarda açığa çıkan Koku Molekülleri

İki farklı yıkama programı koşulunda (ekonomi 50 ve yoğun 70) her üç bulaşık makinesinde (Caplastik taban, Çelik taban ve talk plastik taban) temiz yıkama yapılmıştır.

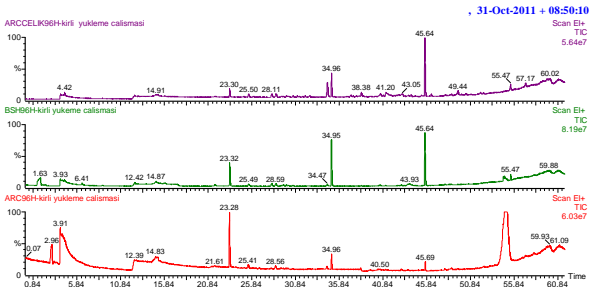


Şekil 5. Yoğun 70 programında bulaşık makineleri 1 hafta bekletildikten sonra elde edilen temiz yıkama sonuçlarına ilişkin GC-MS Kromatogramı (üst Çelik taban, orta Talk-Plastik taban ve alt Ca-Plastik Taban)

Çalışma ekonomi 50 ve yoğun 70 olarak 2 farklı yıkama koşulunda yapılmıştır. Birinci hafta her üç bulaşık makinesinde başlangıç durumlarına göre ölçümler alınmıştır. Ardından kirli yükler ile 3 gün boyunca 12 saat ara ile ve kirli yüklerin yıkaması yapıldıktan 24 saat, 48 saat ve 96 saat sonunda SPME fiber ile örnekler alınmıştır. Ardından makineler tekrar temiz yükler ile yıkanmış ve programın sonunda yine SPME fiber ile örnekler alınmıştır. Bu işlemlerin sonunda yeniden 48 saat sonra SPME fiber ile örnekler alınmıştır. SPME fiber'den desorpsiyon yapıldığında elde edilen toplam iyon kromatogramları Şekil 6. ve Şekil 7.'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Ekonomi 50 programında bulaşık makineleri 96 saat bekletildikten sonra elde edilen kirli yıkama sonuçlarına ilişkin GC-MS Kromatogramı (üst Çelik taban, orta Talk-Plastik taban ve alt Ca-Plastik Taban)



Şekil 7. Yoğun 70 programında bulaşık makineleri 96 saat bekletildikten sonra elde edilen kirli yıkama sonuçlarına ilişkin GC-MS Kromatogramı (üst Çelik taban, orta Talk-Plastik taban ve alt Ca-Plastik Taban)

Bulaşık Makinelerine yüklenen kirler margarin, kıyırma, ıspanak, çay, süt ve yulaf olarak seçilmiştir. Kirli bekleme koşulunda oluşan dietilen glikol monometil eter bileşikleri peynir/süt ürünlerinden kaynaklanabilmektedir. Oktadekanonik asit (stearik asit) kaynağı elma, kayısı ve avokado gibi meyveler olabilmektedir. Butanamit yine peynir kaynaklı, dioksalan bileşiklerinin sebebi de kahve kreması, Paraguay çayı, tavuk eti ve bira(arpa) kaynaklı olmaktadır. Sebze kirlerinde heptanal, dekanal bileşikler açığa çıkmaktadır. Yine etilamin bileşiği de et ve bira ile ilgilidir. Ayrıca yedi karbonlu metil ketonlar da peynir kaynaklı olmaktadır.

Başlangıçta talk-plastik tabanlı makinede, kirli koşulda oluşan bileşiklere bakıldığı zaman trimetildekan, butanetriol, glisin, tetradekan, diaminodipropilamin, trimetildodekan, tetradekan bileşiklerinin oluştuğu görülmüştür. Ca-plastik tabanlı makinede trimetildekan ve glisin hariç diğer bileşikler yer alırken, çelik tabanlı makinede daha az sayıda kokudan sorumlu pik yer almıştır. 96 saat sonunda Ca-plastik tabanlı makinede trimetildekan, tetrametildekan, trimetildodekan bileşikler artış göstermiştir. Talk-plastik tabanlı makinede ise trimetildodekan, trimetil dekan, tetradekan bileşiklerinde artış oluşmuştur.

Talk-plastik ve Ca-Plastik tabanlı bulaşık makinelerinde plastik kaynaklı moleküller olarak tetrametilbütan, 2-pentadekanol, dimetildiazon, 4-metil oktan, 4,7-dimetilundekan, 5,8-dietildodekan ve dioksolan bileşiği kromatogramlarda yer almaktadır. Dioksolan hariç her üç molekül literatürde termal oksidasyon proseslerinden gelen ana koku maddesi olarak değerlendirilmektedir.

Temiz yıkama koşullarında 1 hafta sonunda oluşan/artış gösteren moleküllerin ağırlıklı olarak plastik kaynaklı olduğu görülmüştür. Ancak kirli koşulda yıkama sonrası elde edilen toplam iyon kromatogramlardaki diaminodipropilamine ve glisin bileşiğinin de protein kaynaklı gıdalardan kaynaklandığı görülmüştür. Talk-plastik ve Ca-Plastik tabanlı bulaşık makinelerinde ekonomi 50 ve yoğun 70 programda 96 saat sonunda elde edilen kromatogramda yer almayan ancak çelik tabanlı bulaşık makinesinin kromatogramında yer alan bileşikler ise sadece gıda kaynaklıdır. Bu bileşikler değerlendirildiği zaman: metoksi asetik asit, tridesilester, trifloroasetoksipentadekan, tetradekan, diaminodipropilamin ve butanetriol olduğu görülmüştür.

4. Sonuç

Çalışma sonucunda Ca-plastik taban, talk-plastik taban, homopolipropilen, kopolipropilen ve kokusuz polipropilen malzemeler tek başına Head space GC-MS'de farklı sıcaklık ve bekleme koşulları altında bekletilmiştir. Caplastik tabanın polipropilen malzemesinde diğer polipropilen malzemelerden farklı olarak düşük sıcaklıklarda 2,2,3,3-tetrametilbütan ve 2-pentadekanol, yüksek sıcaklıklarda ise dimetildiazon, 4-metil oktan ve 4,7-dimetilundekan bileşikler belirlenmiştir. Ca-plastik tabanlı bulaşık makinesinde başlangıç anındaki muhtemel koku moleküllü 5,8-dietildodekan ve dioksalan bileşiği, talk-plastik tabanlı bulaşık makinesinde ise dioksolan türevi moleküller olarak belirlenmiştir.

Bulaşık makineleri ekonomi 50 ve yoğun 70 programı ile çalıştırılmıştır. Temiz ve kirli yıkama koşulları altında bulaşık makinelerindeki koku molekülleri makinelerin içerisinde SPME fiberi bekletilerek GC-MS'de analiz edilmiştir. Temiz koşulda Caplastik taban ve talkplastik plastik tabanda yer alan ancak çeliktanda yer almayan moleküller dodekan ve dioksalan

moleküllerine ait piklerdir. Bulaşık makinelerinin kirli olması durumundaki 24 saat bekletilme sonunda oluşan pikler talk-plastik tabanda 2,4-dimetil heptan, 6-metil oktan ve undekan'dır. Ca-plastik tabanda ise 5-etil,2-metil oktan,2-hekzadekanol ve dekan bileşimidir. 1 hafta bekletilmesi sonucunda talk-plastik tabanlı bulaşık makinesinde oluşan moleküller glisin, oktadekan, dodekan, floroasetoksipentadekan ve hekzadekanol bileşimidir. 1 hafta bekletilme sonucunda Ca-plastik tabanda oluşan herhangi bir pik tespit edilememiştir.

Hayatımızın her noktasında ucuz ve kolay bulunurluğu sebebiyle vazgeçilmez olan petrol kökenli plastik malzemeler özellikle gıda ile temas alanlarında yaygın olarak kullanılırken diğer taraftan da sağlık endişeleriyle tüketicileri bilinçli olmaya zorlamaktadır. Gıda ve su gibi hayati ihtiyaçlarımızla temas durumundaki plastiklerin içerikleri ve sağlığa etkileri yapılan multidisipliner çalışmalar ile literatürde kendisine yer bulurken güncelliğini de korumaktadır. Bu çalışma kapsamında plastik malzemelerin üretiminde kullanılan kimyasal bileşiklerin artan sıcaklıkla parçalandığı ve ortaya çıkan yeni göreceli küçük kimyasalların gıda dışı kötü kokuların kaynağı olabileceği görülmüştür.

5. Teşekkür

Yazar laboratuvar çalışmaları sırasında verdiği destekten dolayı Bülent Karadeniz ve Vedat Yalçınkaya'ya teşekkür eder.

Kaynakça

Andersson, T., Holmgren, M.H., Nielsen, Y. & Wessle B.(2005). Degradation of Low Density Polyethylene During Extrusion. IV. Off-Flavor Compounds in Extruded Films of Stabilized LDPE, Journal of Applied Polymer Science, 95, 583–595.

Austin, R.G.(1990). Degredation Studies of Polyolefins, 1st edition CRC Press.

Baigrie, B. (2003) Taints and off-flavours in food, ed:., CRC press, Cambridge England

Bart, C.J. (2006). Plastics Additives Advanced industrial Analysis. IOS press Amsterdam Netherlands.

Brody, A., Bugusu, B., Han, J.H., Sand, C.K. & Mchugh, T.H. (2008). Innovative Food Packaging Solutions, Journal of Food Science, 73(8), 13-18.

Burdock G.A. (2009). Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients, Fourth edition, CRC press, Boca Raton.

Canellas, E., Aznar, M., Nerin, C. & Merceab P. (2010). Partition and diffusion of volatile compounds from acrylic adhesives used for food packaging multilayers manufacturing, J. Mater. Chem., 20, 5100–5109.

Dutra, C., Pezo, D., Alvarenga, F. M., Nerin, C. & Reyes, F. (2011). Determination of volatile organic compounds in recycled polyethylene terephthalate and high-density polyethylene by headspace solid phase microextraction gas chromatography mass spectrometry to evaluate the efficiency of recycling processes. Journal of Chromatography A, 1218 1319–1330.

Eiceman, G.A., Bergloff, J.F., & Funk P.A. (2002). Comparison of Emission Profiles for Volatile Organic Compounds from Cotton and Polypropylene-based Tarp. The Journal of Cotton Science 6:40-51.

Espert, A., Heras, L. & Karlsson S. (2005). Emission of possible odorous low molecular weight compounds in recycled

biofibre/polypropylene composites monitored by head-space SPME-GC-MS. Polymer Degradation and Stability 90, 555-562.

Ezquerro, O., Pons, B. & Tena M.T. (2002). Development of a headspace solid phase microextraction-gas chromatography mass spectrometry method for the identification of odor-causing volatile compounds in packaging materials. J.Chromatogr A 963(1-2):381-92.

EU Food Contact Material Framework Regulation (EC) No 1935/2004 (Framework regulation)

Hodgson, S.C., O'Connor, M.J., Casey, R.J. & Biggers S.W. (1998). Toward an optimized dynamic headspace method for the study of volatiles in low-density polyethylene. J Agric Food Chem. 46(4):1397-405.

Hopfer, H., Haar, N., & Leitner, E. (2010). Analytical method for identification of odour-active compounds in polyolefins. In *Expression of Multidisciplinary Flavour Science* (pp. 561-564). Zurich University.

Kolb, B. & Ettre, L.S. (2006) Static Headspace-gas chromatography Theory and Practice, Wiley Interscience 2nd edition by John Wiley and Sons INC., Hoboken, New Jersey.

Molnar, N. M. (1974). Erucamide”Journal of the American Oil Chemists Society. 51 (3), 84.

Mottarm, D.S. (1998). Chemical tainting of foods, International Journal of Food Science and Technology, 33, 19–29.

Nwabunma, D. & Kyu, T. (2008) Polyolefin composites 2008 John Wiley and Sons, Inc., Hoboken,

Murphy, J. (2001). Additives for Plastic Handbook” 2nd Ed. Elsevier Science Ltd., New Jersey.

PAGEV (2017)- Türkiye plastik sektör raporu..

Plastics Europe Association of plastics manufacturer (2008).

Ridgway, K., Lalljie, S.& Smith R.M. (2010). An alternative method for analysis of food taints using stir bar sorptive extraction, Analytica Chimica Acta, 677 29–36.

Sajilata ,M.G., Savitha, K., Singhal, R.S., Kanetkar, V.R. (2007) Scalping of Flavors in Packaged Foods,Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Vol. 6, 17-35.

Tolinski, M. (2015). Additives for Polyolefins: Getting the Most out of Polypropylene, Polyethylene and TPO, 2. Ed. Published by Elsevier)

TGK, Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler Tebliğ (Tebliğ No: 2019/44)

Villberg, K., Veijanen, A., Gustafsson, I. & Wickstrom, K. (1997). Analysis of odor and taste problems in high-density polyethene. J Chromatogr A, 791(1 -2):213-9.

Villberg, K. & Veijanen, A. (2001) Analysis of a GC/MS thermal desorption system with simultaneous sniffing for determination of off-odor compounds and VOCs in fumes formed during extrusion coating of low-density polyethylene. Anal Chem. 73(5):971-7.



Manavgat İlçesinin Örtüaltı Sebze Yetiştiriciliğinde Kirletici Faktörler ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi

Atılğan Atılğan¹, Ümran Sarı², Burak Saltuk³, Hasan Ertop⁴

¹ Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Alanya-Antalya/Türkiye
(ORCID:0000-0003-2391-0317) atilgan.atilgan@alanya.edu.tr

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü., Isparta/Türkiye

(ORCID: 0000-0003-0116-8756) umran.sarii07@gmail.com

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Alanya-Antalya/Türkiye

(ORCID: 0000-0001-8673-9372) burak.saltuk@alanya.edu.tr

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü., Isparta/Türkiye

(ORCID: 0000-0003-0987-5885) hasanertop@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 23 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 22 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.956632)

ATIF/REFERENCE: Manavgat İlçesinin Örtüaltı Sebze Yetiştiriciliğinde Kirletici Faktörler ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi *European Journal of Science and Technology*, (25), 802-809.

Öz

Dünyayı saran pandemi nedeniyle insanların daha çok sebze ve meyve tüketme isteği ortaya çıkmıştır. Ayrıca ülkemizin ılıman bir iklime sahip olmasının yanında toplum bilincinin gelişmesi sonucunda son yıllarda ülkemizde yıllık sebze ve meyve tüketiminin arttığı gözlenmektedir. Sera yetiştiriciliği, tarımın en önemli gelir getirici dallarından birisidir. Sıcak iklim kuşağındaki ülkelerde olduğu gibi Akdeniz Bölgesindeki seralarda ekonomik ve montaj kolaylığı bakımından yaygın olarak plastik örtü malzemesi tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Manavgat Tarım ve Orman İlçe Müdürlüğünde çalışan teknik elemanların önerileriyle seracılık faaliyetlerinin yoğun yapıldığı Manavgat merkezdeki ve merkeze bağlı köylerdeki seralar incelemeye alınmıştır. Seralara ait arazi büyüklüklerine ilişkin istatistiksel veriler, basit tesadüfi örnekleme yöntemiyle, anket yapılarak belirlenmiştir. Alınan bilgiler doğrultusunda Manavgat yöresindeki 124 adet işletme materyal olarak tespit edilerek, araştırma alanı içinde işletmelere ayrı ayrı gidilmiştir. Yapılan çalışmayla Manavgat yöresinde örtüaltı sebze yetiştiriciliğinin tüm aşamalarında yapılan tüm tarımsal faaliyetler tespit edilmiştir. Aynı zamanda tüm bu faaliyet aşamalarında çevre kirliliği ve çevresel sorunlara neden olan her türlü parametreler belirlenmiştir. Yapılan bu araştırma ile tarımsal anlamda oluşabilecek kirliliğin engellenerek, sürdürülebilir bir çevrenin sağlanması amacıyla ilkelere belirlenmesi ve yapılan çözüm önerileri ile üreticilere fayda sağlayarak doğanın da korunması beklenmektedir. Bu kapsamda dönem dönem üreticiler ile bir araya gelerek gerekli eğitimlerin verilmesi gerektiği kanısına varılmıştır. Dolayısıyla bu eğitimlerin biyolojik mücadele, yeşil gübre uygulamaları ile birlikte yapılacak iyi tarım uygulamalarını kapsayan bilinçlendirme çalışmaları için atılacak adımların örnek olacağı kanısına varılmıştır

Anahtar Kelimeler: Sera, Manavgat, Çevre kirliliği, Sebze yetiştiriciliği

Determination of Pollutant Factors and Environmental Effects in Greenhouse Vegetable Cultivation of Manavgat District

Abstract:

Due to the pandemic surrounding the world, people's desire to consume more vegetables and fruits has emerged. In addition to the warm climate of our country, it is observed that the annual consumption of vegetables and fruits in our country has increased in recent years as a result of the development of public awareness. Greenhouse cultivation is one of the most important income generating branches of agriculture. Plastic cover material is widely preferred in greenhouses in the Mediterranean Region, as in countries in the warm climate zone, in terms of economy and ease of installation. In this study, greenhouses in Manavgat district and its affiliated centers, where greenhouse activities are intense, were examined with the suggestions of the technical staff working in the Manavgat Provincial Directorate of Agriculture and Forestry. Statistical data on land sizes of greenhouses were determined by simple random sampling method, by conducting a survey. In line with the information received, 124 enterprises in the Manavgat region were identified as material, and the enterprises within the research area were visited separately. With the study, all agricultural activities carried out at all stages of greenhouse vegetable cultivation in the Manavgat region were determined. At the same time, it has enabled the determination of all kinds of parameters that cause pollution and environmental problems in all these activities. With this research, it is expected to protect the nature by preventing the pollution that may occur in the agricultural sense, by determining the principles in order to provide a sustainable environment and by providing benefits to the producers with the solution suggestions. In this context, it was concluded that the necessary training should be given by meeting with the producers from time to time. Therefore, it has been concluded that these

trainings will be an example of steps to be taken for awareness-raising activities covering biological control, green manure applications and good agricultural practices.

Keywords: Greenhouse, Manavgat, Environment pollution, Vegetable cultivation,

1. Giriş

Günümüzde insanların gıda ihtiyaçlarını karşılamak için daha fazla üretime ve daha fazla verimliliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Seralar, iç ortamda sıcaklık, ışık ve nem gibi iklimsel faktörlerin kontrolü ile üretim yapılabilen, dış ortam iklim koşullarına tamamen veya kısmen bağlı olan ve yıl boyunca sebze, tohum ve fideler üretmek için kullanılan bitkisel üretim yapılarıdır (Anonim, 2015, Baytorun, 2016; Büyüктаş ve ark., 2016).

Türkiye'nin her yerinde seracılık faaliyetinin yapılması ekonomik olmamaktadır. Gerek iklim şartlarından gerekse pazar payının düşük olmasından dolayı Akdeniz bölgesinin kıyı kesimleri seracılık için ideal görülmektedir. Ilıman iklime sahip

Akdeniz Bölgesinde diğer seralara göre plastik örtülü seralar ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması nedeni ile daha fazla kullanım alanları oluşturmaktadır. 2020 yılı verilerine göre ülkemizdeki örtüaltı miktarının 21825.1 ha'lık kısmı alçak tünel, 10387.2 ha'lık kısmı yüksek tünel, 40104.3 ha'lık kısmı plastik sera ve 8073.6 ha'lık kısmı ise cam sera olup toplam örtü alanı 80390.2 hektardır (Anonim, 2021).

Dünya'da örtüaltı yetiştiricilik faaliyeti konusunda ülkelere göre örtüaltı alan miktarına bakıldığında ülkemiz yaklaşık 64911 ha örtü altı üretim alanı ile İtalya 72800 ha ve 71698 ha ile İspanya'dan sonra 3. sırada yer aldığı bilinmektedir (Tüzel ve Öztekin, 2015).

Çizelge 1. Türkiye'nin Bölgelere Göre Örtüaltı Varlığı (Anonim, 2021).

Bölge Adı	Alçak Tünel (da)	Cam Sera (da)	Plastik Sera (da)	Yüksek Tünel (da)	Toplam (da)
Akdeniz	212106	73362	330019	69646	685133
Ege	5234	6806	51462	12744	76246
Marmara	101	274	10833	9245	20453
Karadeniz	709	4	4018	11698	16429
İç Anadolu	30	79	618	273	1000
Güneydoğu Anadolu	40	160	2039	25	2264
Doğu Anadolu	31	51	2054	241	2377

Çizelge 1'de 2020 yılı için bölgelerin niteliklerine göre örtüaltı yetiştiricilik varlığı dekar olarak ifade edilmiştir. Buna göre, örtüaltı yetiştiricilik faaliyetini en çok yapan bölge 685133 da ile Akdeniz bölgesidir. Akdeniz bölgesini 76246 da ile Ege bölgesi, 20453 da ile Marmara, 16429 da ile Karadeniz, 2377 da ile Doğu Anadolu, 2264 da ile Güneydoğu Anadolu ve 1000 da ile İç Anadolu bölgesi takip etmektedir (Anonim, 2021a). Ülkemizde iller arasında örtüaltı yetiştiricilik faaliyeti bakımında bir kıyaslama yapıldığında Antalya ili 31222 ha ile birinci sırada gelmektedir. Antalya ilini 18841 ha ile Mersin ve 15413 ha ile Adana izlemektedir. Antalya ili içerisinde ise Manavgat 2312 ha ile Kumluca (5393 ha), Serik (4392 ha), Aksu (3533 ha), Gazipaşa (3291 ha), ve Alanya (2485 ha) ilçelerinden sonra 6. sırada yer almaktadır. Manavgat'ın toplam örtüaltı varlığı 2312 hektardır. Bu alanın %62,17'si plastik sera, %25,46'sı alçak tünel, %11,23'ü yüksek tünel ve %1,12'si cam seralardan oluşmaktadır (Anonim, 2021). Büyük yatırımcı grupların da sektöre girmesiyle hızlı gelişim gösteren modern seracılık, son on yıllık süreçte büyük bir gelişme göstermektedir. Yaklaşık her yıl 150-200 ha alan eklenmektedir. Günümüzde modern seracılık sera alanlarının %3'ünde yapılmaktadır. Önümüzdeki on yıllık süreçte bu payın %15 seviyelerine ulaşması beklenmektedir (Eker, 2012). İç Anadolu bölgesi tarım açısından yeniliklere oldukça açık bir durumdur. Ancak seracılığın yapılabilmesi ekonomik kazançla doğru orantılıdır. Yapılan bir çalışmada örtüaltı tarımı açısından

Kırşehir ilinin uzun yıllık iklim verileri incelenmiş, sıcaklıkların arttığı, bağıl nem oranının da azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Buna göre, ortalama uzun yıllık sıcaklıkların düşük, donlu gün sayısının fazla olduğu Kırşehir ilinde ısıtma maliyetleri göz önüne alındığında bu aylarda örtüaltı tarımı yapılmasının ekonomik olmadığı belirlenmiştir (Boyacı ve ark., 2016). Ülkemizdeki soğuk iklime sahip bazı bölgelerde seracılık faaliyetlerinin ekonomik olmadığı, örtüaltı yetiştiriciliğinin yoğun yapıldığı bölgelerde ise mevcut seraların büyük çoğunluğunun yapısal sorunlarının olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu anlamda Kırşehir ilinde yapılan çalışma da sera yan duvarlarında tek kat örtü malzemesi yerine çift kat kullanılması durumunda tasarruf edilen enerji miktarının artırılmasında oldukça önemli olduğunu belirlenmiştir (Boyacı, 2018). Akdeniz Bölgesinin ikinci büyük örtüaltı potansiyeli Mersin ilidir. Mersin ili Anamur İlçesinde yapılan bir çalışmada, muz üretimi yapılan seralarının yan duvar yükseklikleri ve çatı eğim açılarının olması gerekenden daha düşük olduğu belirlenmiştir. İncelenen seralarda mertek ve çatı yükünü taşıyan kolonların sık aralıklarla yerleştirildiği ve sera içinde tarım alanının bölündüğü saptanmıştır. Çatı ve yan duvar havalandırma açıklık oranının sera taban alanına oranı %1,8 olarak belirlenmiştir (Emekli ve Büyüктаş, 2009). Tarım ürünlerinin üretimi aşamasında kullanılan girdiler (her türlü gübreler ve ilaçlar) üretimi yapılan ürünün birim alana verimini artırıp, zararlı ve hastalıklara karşı daha dayanıklı olmasını imkân sağlarken,

yakın çevresinde yer alan ekosistem ve canlılar üzerine olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir (Parlakay, ve ark., 2015). Örtüaltı yetiştiricilik faaliyetleri süresince çeşitli kirlilik durumları oluşmaktadır. Seralarda hasat süresince ve hasat sonrasında ortaya çıkan bitkisel atıklar uygun bir şekilde yönetilmediğinde çevre ve toprak kirliliğine neden olduğu belirtilmiştir (Atılğan ve ark., 2007; Güzey ve Atılğan, 2015). Bu çalışma ile tarımsal anlamda oluşabilecek kirliliğin engellenerek, sürdürülebilir bir çevrenin sağlanması amaçlanmakta olup, çevresel ilkelerin belirlenmesi ve yapılan çözüm önerileri ile üreticilere benimsetilerek fayda sağlanması ve doğal bir sonuç olarak yöredeki doğanın korunması istenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Yapılan bu çalışma ile Manavgat yöresinde örtüaltı sebze yetiştiriciliği yapan işletmelerinin genel durumları tespit edilerek üretim sezonu süresince ve sonrasında ortaya çıkan tarımsal atıkların değerlendirme şartları ve bunların çevreye olası etkileri araştırılmıştır. Manavgat'ın kuzeyi Toros Dağları ile çevrilidir. Sahil şeridi plajları ve eşsiz kumsallarla kaplıdır. Denizden iç bölgelere gidildikçe ekilebilen düz ovaların yanında engebeli bir arazi yapısı gözlenir. İklimi; Akdeniz iklimi olup, yazları sıcak ve

kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Don olayı tüm yıl boyunca ancak birkaç gün görülmektedir. İlçenin doğal yapısı kısmen tarıma uygun olup bu bölgelerde tarım gelişmiştir. Geri kalan bölgeler orman ve fundalık alanlar ve hayvancılığın geliştiği köyler olarak ayrılır. İlçe köylerinde büyük ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinin yanında hububat, susam, karpuz yetiştiriciliği ve özellikle son yıllarda zeytincilik giderek önem kazanmaktadır. Orman ürünleri işçiliği ve mevsimlik tarım işçiliği başlıca kazanç yolları olup sınırlı tarım arazilerinde hububat yanında son yıllarda kekik, kiraz ve ceviz gibi meyve yetiştiriciliği yapılmaya başlanmıştır. Son yıllarda pamuk üretimi azalmakta narenciye, açık alan ve örtü altı sebze yetiştiriciliğinde artma görülmektedir. İlçede sanayi gelişmemiştir. Ancak tarıma dayalı olarak pek çok fabrika bulunmaktadır. Bunlar dışında bölgenin doğal getirisi olarak turizm ilçenin en önemli gelir kaynaklarından. Sahil şeridinden itibaren, Toroslar'a kadar uzanan alan, tamamen ziraat alanıdır. Manavgat ilinin ekonomik olarak ana geçim kaynağı özellikle turizm ve tarımdır (Anonim, 2021b). Çalışmada materyal olarak ilçedeki seralar ve bu seralardaki atıklar ve faaliyetler materyal olarak kullanılmıştır. Manavgat'a komşu olan ilçeler ve Manavgat'ın mahallerini gösteren harita Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın yapıldığı ilçe ve mahalleri gösteren harita

2.2. Metot

Çalışma, gerek Manavgat İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü çalışanlarının yönlendirmesiyle, gerekse önder çiftçilerle araziye çıkılarak yürütülmüştür. Çalışma alanı Manavgat yöresinde örtüaltı sebze yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı belde ve köyleri kapsamaktadır. Evrenseki, Merkez, Hatıplar, Yeniköy gibi sera yetiştiriciliğini yoğun yapıldığı yerlerdeki işletme sahipleri çalışmanın hedef kitlesidir. Materyal olarak belirlenen işletmeler öncelikle Manavgat İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğünden konuyla ilgili veriler alınarak kullanılmıştır. Elde edilen veriler aracılığıyla anket yapılan sera işletmelerinin belirlenmesi amacıyla aşağıda verilen "Basit Tesadüfi Örneklem" yöntemi kullanılmıştır. 1'den N'e kadar numaralandırılmış olan bir popülasyondan n sayıdaki bir örnek eşit olasılıklı olarak seçilmektedir (Oğuz ve Karakayacı, 2017).

n: Örnek hacmini,

N: Popülasyondaki işletme sayısını,

S: Popülasyon varyansını,

d: ortalamadan belirli bir orandaki (%5) sapmayı,

t ise %95 güven sınırına karşılık gelen t tablo değerini (1,65) ifade etmektedir.

Anılan formül yardımı ile %90 güvenilirlik sınırı ve %10 hata payı ile anket uygulanan işletme sayısı 124 adet olarak belirlenmiştir. Çalışmanın yapılabilmesi ve örtüaltı sebze yetiştiriciliği yapılan işletmelerin özellikleri hakkında daha iyi netice almak için Manavgat İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'ndeki personellerin katkılarıyla yöredeki işletmeler hakkında çeşitli bilgiler alınmıştır. Alınan bilgiler doğrultusunda Manavgat yöresindeki 124 adet işletme materyal olarak tespit edilerek, araştırma alanı içindeki tüm işletmelere gidilerek anketler uygulanmıştır. (Çizelge, 2). Çıktı olarak alınan formlarda sisteme kullanıcı yardımı ile girilmiştir.

$$n = \frac{N \times S^2 \times t^2}{(N - 1) \times d^2 + S^2 \times t^2}$$

Çizelge 2. Anket Uygulanan İşletmelerin Bulunduğu Yerler

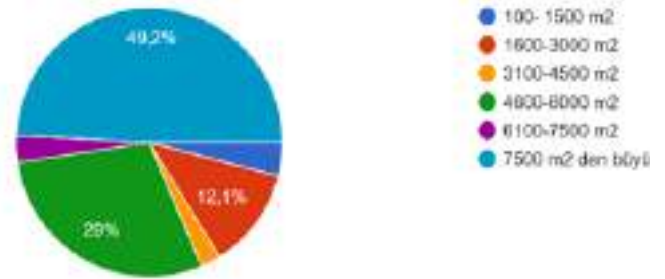
Yeniköy	Yukarı Işıklar	Çardakköy
Gündoğdu	Çavuşköy	Kızılağaç
Uzunkale köyü güzelli mahallesi	Azizler	Kızılot
Evrenseki	Hatıplar	Kalemler
Öreñşehir	Dolbazlar	Ilıca
Taşagıl	Çolaklı	Sarılar
Kalemler	Çenger	
Manavgat merkez	Kumköy	
Göğü	Karakaya	
Yavrudoğan	Evrenler	
Dikmen mahallesi	Çolaklı	
Dolbazlar	Kayadibi	
Sarin	Gömeçli	
Şişeler	Hatıplar	
Dolbazlar	Üründük köyü	
Aşağı ışıklar	Hocalı	

Çalışmada materyal olarak belirlenen örtüaltı sebze yetiştiriciliği yapan işletmelerle ilgili; işletme büyüklükleri, örtü tipi, sera drenaj durumu, sera ısıtma şekli, sera içi pestisit kullanımına karar verme durumu, toprak analiz yaptırma durumu, aşırı gübre ve pestisit kullanımı sonucu ortaya çıkabilecek sorunlara farkındalık durumu, üreticilerin toprak ve yaprak analizi yaptırma nedenleri, pestisit seçiminde etkili kriterler, hastalık ve zararlı teşhisi yapılma durumu, üreticilerin eğitim durumu, pestisit kullanımda tercih edilen yöntemler, üreticilerin toprak ve yaprak analizine bakış açısı, toprak ve yaprak analizi yaptırmak için istenilenler, bitkisel atıkların değerlendirilme durumu ve örtü malzemesinin geri dönüşümü gibi çeşitli özelliklere ait veriler, işletmelerde yapılan anketler, gözlemler ve çekilen fotoğraflar doğrultusunda sağlanmıştır. Materyal olarak belirlenen örtüaltı sebze yetiştiriciliği faaliyeti gerçekleştiren işletmelerden elde edilen verilere göre kirlenme faktörleri belirlenmiştir. Belirlenen bu faktörlerin çevre kirliliği açısından etkileri belirlenerek ortaya çıkan sonuçlar neticesinde önerilerde bulunulmuştur. Çalışmada kullanılan anketler yazılı olarak doldurulmakla beraber, aynı zamanda internet tabanlı Google formlar kısmından elektronik ortamda da doldurulmasına olanak verilmiştir. Bu şekilde zaman tasarrufu sağlanmakla beraber, sonuçların daha kolay yorumlanmasını sağlamıştır. Ankete verilen cevaplar SPSS istatistik programı ile değerlendirilmiştir. Tarım İl Müdürlüğü personelleri aracılığıyla ulaşılan işletmeler olduğu gibi direk alınan anket sonuçları da bulunmaktadır. Çıktı olarak alınan formlarda sisteme kullanıcı yardımı ile girilmiştir.

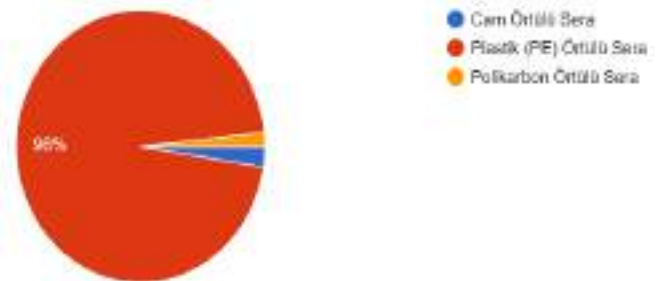
3. Araştırma Bulguları

Manavgat ilçesinde, anket uygulanan işletmelerden elde edilen sonuçlara göre, anket uygulanan işletmelerin; alan büyüklükleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde işletmelerin %51,8'inin 7500 m² den küçük alana sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte işletmelerin %12,1'inin 3100-4500 m² ve %29'unun 4600-6000 m² alana sahip işletmeler olduğu belirlenmiştir. Seraların özellikle havalandırma açısından yeter derecede yüksekliğe sahip olması gerektiği bilinmektedir. Buna göre; çalışma alanındaki seraların %52'sinin sera yüksekliği 4,5 m, %43,2'sinin sera yüksekliği 5,0 m ve %4,8'inin ise 4,0 m olarak belirlenmiştir. Yapısal özellikler açısından incelenen seraların birbirine benzer şekilde yapıldığı gözlenmiştir. İşletmelerin %96'sında örtü malzemesi olarak polietilen (PE) plastik örtü malzemesi kullanılırken, %4'ünde ise cam ve

polikarbon örtü malzemesinin kullanıldığı belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. İşletme Büyüklükleri



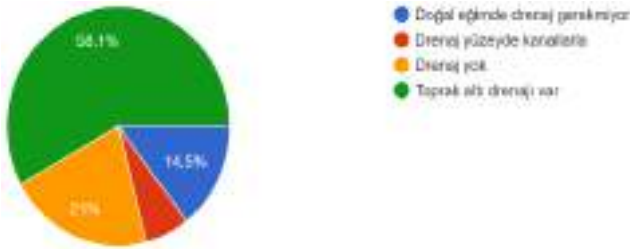
Şekil 3. Örtü Tipi

Sera örtü malzemesi seçiminde PE (Polietilen) ön plana çıkmaktadır. Kullanılan malzemenin içeriğinin önem göstermediği seçimde maliyetin göz önüne alındığı bir gerçektir. Yörede örtü malzemesi kullanımında malzemenin UV (ultraviyole), IR(infrared), ısı iletimi, ışık geçirgenliği gibi teknik özelliklerinden ziyade maliyetinin göz önüne alındığı belirlenmiştir. Üreticiler, örtü malzemesinin dayanıklı olmasını tercih ettikleri, doğal afet olmadığı sürece 3 yıldan önce sera örtü malzemelerini değiştirmediklerini belirtmişlerdir. Yöredeki firmalar tarafından 36 ay dayanabildiği ifade edilerek satılan örtü malzemesinin kullanıldığı belirlenmiştir. Üreticilerin %68,5'i serada ısıtma yapmadığı, %31,5'inin ısıtma yaptığı belirlenmiştir. Fosil yakıtlarla ısıtma yapanların oranı ise %11,3'tür (Şekil 4). Ertop ve Atılğan (2017), Antalya yöresinde sera üreticileri arasında yaptıkları çalışmada en yaygın ısıtıcı tipinin soba olduğunu ve kolay yakıt bulunabilirliğinden dolayı soba kullanımının arttığını ifade etmişlerdir. Ertop (2017) ise, ısıtma yapılan seralarda fosil yakıt olarak kömür kullanımının %53,25

olduğunu belirtmiştir. Buradan bölgedeki üreticilerin fosil yakıtla olan bağlılığının devam ettiği söylenebilir. Yörenin, ısıtma giderleri iklimden dolayı fazla olmamaktadır. Ancak önceki çalışmalar ışığında, seralarda fosil yakıtların kullanılmasının gerek çevresel gerekse maliyet açısından sorunları ortaya çıkarabilecek düzeyde olabileceği söylenebilir. Mevcut seraların %21'inde herhangi bir drenaj sisteminin olmadığı tespit edilmiştir. Drenaj sistemine sahip seralarda farklı drenaj yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemlerin işletmeler göre dağılımı şöyledir; İşletmelerin %14,5'inde yeterli arazi eğimden dolayı drenajın gerekmediği, %6,4'ünde drenajın sera etrafında hendekler ile yüzeyde bulunan kanallarla yapıldığı ve %58,1'inde toprak altı drenaj sisteminin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5).

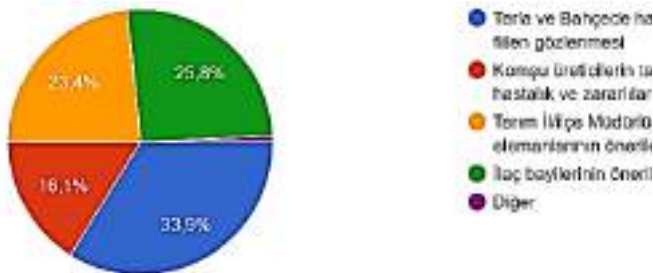


Şekil 4. Sera Isıtma Şekli

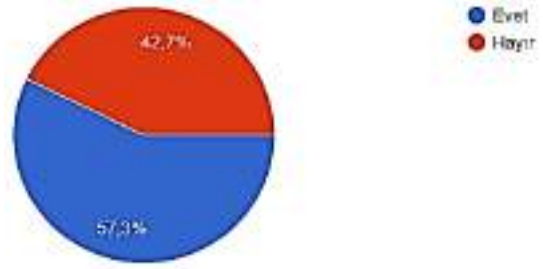


Şekil 5. Sera Drenaj Durumu

Yapılan bu çalışmadan elde edilen bulgular üreticilerin çoğunlukla sadece üretim miktarını dikkate alarak pestisit kullandıkları ve gübreleme yaptıklarını verim dışındaki kriterlere önem vermediklerini, olası çevresel problemlerini ise hiç dikkate almadıklarını açıkça ortaya koymuştur. Ayrıca, gerek tarım müdürlüklerinde görevli teknik elemanlar gerekse zirai ilaç satan bayilerle gerekli teknik bağlantının çok sık kurulmadığı görülmüştür. Özellikle üretimin en fazla 14 hafta sürdüğü sezonluk üretimde (en fazla 3 defa) üreticilerin teknik destek alma konusunda istekli olmadıkları bunun yanı sıra yayımcılarında yeterli uygulama yapmadıkları gözlenmiştir (Şekil 6).

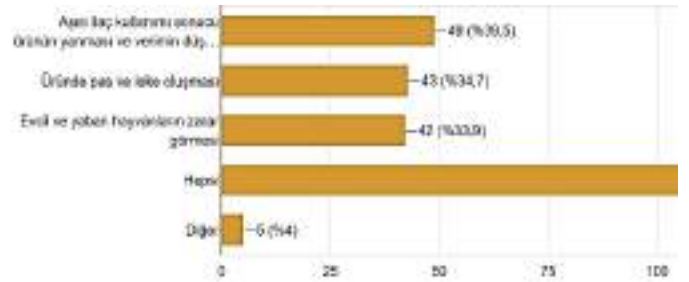


Şekil 6. Sera İçi Pestisit Kullanımına Karar Verme Durumu

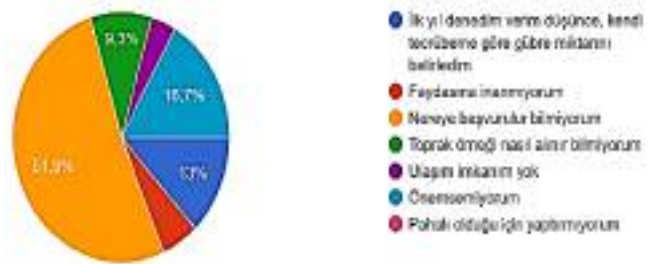


Şekil 7. Toprak Analiz Yaptırma Durumu

Toprak ve yaprak analizi yaptıran üreticilerin oranı %57,3 iken yaptırmayanların oranı ise %42,7'dir. Özellikle bu konuda yöredeki üreticilerin doğru bir uygulama içerisine girmeye başladıkları görülmüştür (Şekil 7). Üreticilerin toprak ve yaprak analizi yaptırma nedenleri irdelendiğinde bu analizlerdeki neden sonuç ilişkilerine yaptıkları yorum neticesinde (%87,1) yaptıkları işin çevresel açıdan önemini fark etmeye başladıkları kanısına varılmıştır. Toprak ve yaprak analizi yaptırmadan doğru miktarda gübre ve doğru hastalık tespiti yapılmadan pestisit kullanımına yönelen üreticilerin ise bu konuda nereye başvuru yapılacağını (%51,9) bilmediği görülmüştür. Ancak önemsemiyorum cevabı (%16,7) verenlerde dikkat çekici düzeydedir. Özellikle bu konuda tarımsal alanda çalışan firmaların ve devlet kuruluşlarının çevresel etkileri üreticilere anlatmaları ve ikna etmeleri gereklidir. (Şekil 8 ve 9).



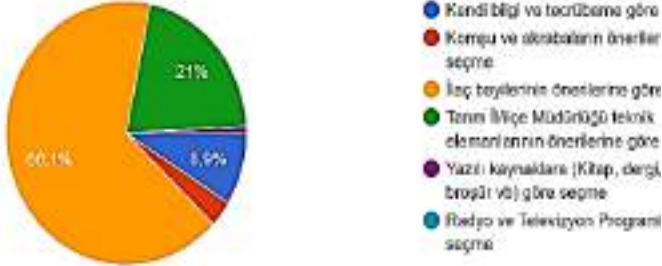
Şekil 8. Üreticilerin toprak ve yaprak analizi yaptırma nedenleri



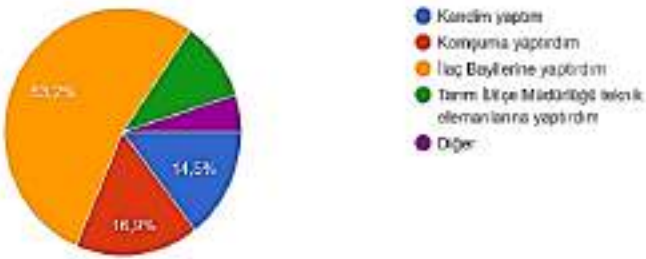
Şekil 9. Aşırı gübre ve pestisit kullanımı sonucu ortaya çıkabilecek sorunlara farkındalık durumu

Özellikle yoğun tarım tekniklerinin uygulandığı ve kazanç odaklı üretimin ön plana çıktığı seracılıkta; pestisit kullanımının da açık tarla üretime nazaran fazla olduğu bilinen bir gerçektir. Burada temel olarak dikkat edilmesi gereken, doğru zamanda doğru miktarda ve doğru uygulamanın yapılmasıdır. Çalışmamızda pestisitte doz ayarlamasında ilaç bayilerinin tavsiyesinin göz önüne alındığı belirlenmiştir. Tanrıvermiş (2000), araştırmasında üreticilerin % 40,2'sinin, Kalıpçı ve ark., (2011) ise üreticilerin % 33,3'ünün ilaçlama bilgilerini ilaç

bayilerinden aldıklarını ifade etmişlerdir. Çalışmamızın sonucunda üreticilerin geçen süre içerisinde bu alışkanlıklarının korunduğu söylenebilir. Bir bakımdan çevresel açıdan pozitif etki yarattığı düşünülse de özellikle ticari kaygıların fazla olması çevresel açıdan negatif etki de yaratabilecektir (Şekil 10, 11). Çevresel etkilere verilen önem dolaylı olarak eğitimle ilişkili bulunmuştur. Zira eğitim düzeyi arttıkça analiz yaptırmaya verilen önem artmakta, bu da gereksiz ve aşırı gübre kullanımını önlemekte ve çevresel etkiler azaltılabilmektedir.

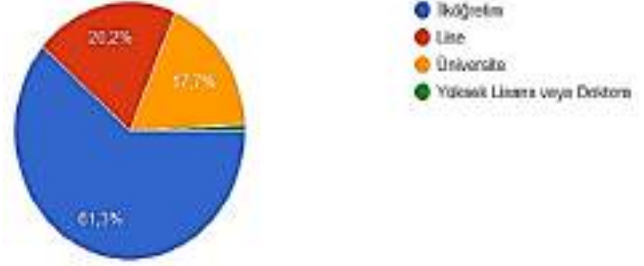


Şekil 10. Pestisit seçiminde etkili kriterler



Şekil 11. Hastalık ve zararlı teşhisi yapılmama durumu

Sera kaynaklı kirleticiler özellikle aşırı kimyasal gübre ve kontrolsüz pestisit kullanımı sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak üreticilerin büyük kısmı üretim için kimyasal gübre ve zararlılar için yoğun pestisit kullanımının sürekli olması gerektiğini savunurken toprak ve yaprak analizinin gerekli olmadığını da beyan etmektedirler. Ancak, Tiryaki ark., (2010)'nın da belirttiği gibi, aşırı pestisit kullanımı organizmalarda ilaca karşı direnç oluşturmaktadır, pestisit uygulaması başarısız olmaktadır. Çalışma alanındaki üreticilerin yoğun pestisit kullanımının gerekliliği düşüncesinin aksine, kimyasal mücadele yöntemlerinin azaltılarak alternatif biyolojik mücadele yöntemlerine yönelim sağlanmaya çalışılması bölge tarımı için daha yararlı olabilecektir. Özellikle yoğun tarım tekniklerinin uygulanmaya geldiği seracılıkta 5 yılda bir toprak ve yaprak analizi yapılması tamamen bilinçsizce gübreleme yapıldığının veya toprak kirliliğinin önemsenmediğinin temel göstergesidir. İnsanların yanlış uygulamalarının bir sonucu olarak toprak ekosisteminin fiziksel, kimyasal ve biyolojik dengesi bozulmaktadır (Jack, 2001; Kızıloğlu Algan ve Bilin, 2005). Herhangi bir analiz sonucuna bağlı olmaksızın yapılan gübre ve pestisit uygulamaları, dekara maliyeti artırmakla birlikte bitki ve toprak açısından da olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Ayrıca, pestisit seçiminin konusunda uzman kişiler tarafından yapılması gereklidir. Aksi takdirde ortaya çıkacak çevresel etkiler hem insan sağlığına hem de diğer canlıların yaşam düzeylerine olumsuz etkide bulunabilir. Yapılan araştırmada üreticilerin tarım teşkilatı tarafından yapılan uyarılara uyduklarını belirtmeleri (%21) olumlu bir adım olarak düşünülmektedir (Şekil 12, 13).

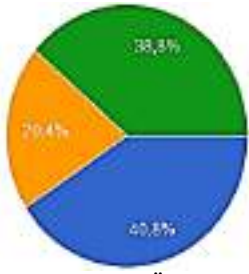


Şekil 12. Üreticilerin eğitim durumu



Şekil 13. Pestisit kullanımdan tercih edilen yöntemler

Yöredeki üreticilerin kısa sürede ve daha fazla ürün almayı istemesi kullandığı pestisit ve gübre miktarlarını artırmaya yöneltmektedir. Ancak sadece tüketicilerin sağlık açısından veya çevresel etkileri açısından değil aynı zamanda üreticilerin de karşılaştığı sorunlar bulunmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde üreticilerin yüz yüze kaldığı sorunlar ve ne şekilde uygulama yapılırsa fayda sağlayabileceği konusunda verilen cevaplar irdelenmeye çalışılmıştır. Üreticilerin toprak ve yaprak analizi ile ilgili temel sorunu iki ana başlık altında yoğunlaşmaktadır. Bunlardan ilki analizin uzun zaman aldığına belirtilmesi (%40,8), ikincisi ise analiz ile ilgili laboratuvarın bulunmaması (%38,8) olarak belirtilmiştir. Uygulanan ankette 124 üreticinin hiç birisinin analiz sonuçlarını uyguladığımda verim düşüyor dememesi üreticilerin bilinçli olduğunu göstermektedir (Şekil 14, 15). Sadece temel sorunları tespit etmek sorunu çözmek için yeterli olmayacaktır. Bundan dolayı, çalışmamız üreticilerimizden aldığımız cevaplara göre çözüm tavsiyelerini araştırmaktadır. Üreticilerimizin %38,5'i toprak analizlerinin zorunlu hale getirilmesini istemekte ve analiz yaptırmayanların gübre almaması gerektiğini belirtmektedir. Yüzbaşıoğlu (2019), tarafından Tokat ilinde yapılan bir çalışmada ise tarımsal desteklerden yararlanabilmesi toprak analizlerinin yapılması gerekliliği üreticilerin %35,23'ü tarafından ifade edilmiştir. Çalışmamız neticesinde, farklı coğrafik bölgelerde bulunan gerek örtü altı gerek ise açık alanda üretim yapan çiftçilerin toprak analizleri kapsamındaki desteklemeler ile ilgili düşüncelerinin benzer yapıda olduğu varsayılabilir. Ayrıca, bölgesel laboratuvarların yaygınlaştırılmasının ve sürelerin kısaltılmasının istenmesi bu konuda üreticilerin istekli olduğunu da ortaya çıkarmıştır.

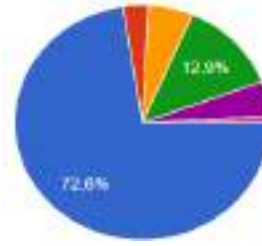


Şekil 14. Üreticilerin Toprak ve yaprak analizine bakış açısı

- Toprak ve yaprak analizi uzun zaman alıyor
- Analiz sonuçlarını uyguladığımda verim düşüyor
- Analiz sonuçlarının doğru olduğuna inanmıyorum
- Bölgenizde toprak ve yaprak analizi yapan laboratuvar yok

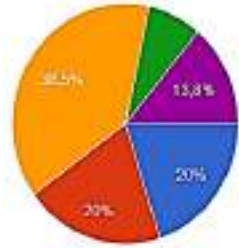
konuda çevre bilincinin gelişmeye başladığının göstergelerinden birisidir.

Şekil 15. Toprak ve yaprak analizi yaptırmak için istenilenler



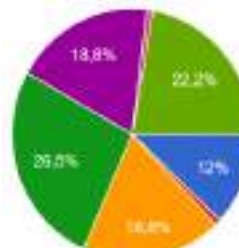
Şekil 16. Bitkisel atıkların değerlendirilme durumu

- Kompost yapıyorum
- Yakıyorum
- Çöp kutusuna atıyorum
- Seranın içine koyuyorum
- Seranın dışına koyuyorum
- Bitkisel atık almıyorum
- Diğer



- Analizler kısa sürede yapılabilir
- Bölgede analiz laboratuvarları yaygınlaştırılmalı
- Toprak analizleri zorlu hale getirilmeli, analiz yaptırmayan çiftçiye gübre satışı yapılmamalı
- Devlet toprak analize göre gübre kullanan çiftçiye destek vermeli
- Topraktaki besin maddesini diğer cihazlar çiftçiye ücretsiz olarak dağıtmalı

Şekil 15. Toprak ve yaprak analizi yaptırmak için istenilenler



Şekil 17. Örtü malzemesinin geri dönüşümü (PE)

Çevre kirliliği Dünya'nın en büyük sorunlarından birisinin olduğu bilinen bir gerçektir. Özellikle kısıtlı alanlarda yoğun uygulamalar sonucu ortaya çıkan tarımsal kirlilik günümüzün en büyük sorunlarından birisi olarak görülmektedir. Bitkisel üretiminin temel çıktısı sebze veya meyve olmakla beraber, ortaya çıkan atıkların (sap, yaprak ve kök vb) ne şekilde değerlendirdiği konusunda üreticilere yöneltilen sorularda, %72,6'sı kompost yaptığını belirtmiştir. Üreticiler açısından oldukça iyi, çevre açısından da oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir (Şekil 16, 17). Günümüzde, seralarda örtü malzemesi, sulama malzemesi ve malç olarak plastik (PE) kullanılmaktadır. Plastik (PE) uygun bir şekilde ortamdaki uzaklaştırılmaması durumunda hem toprağı verimsizleştirdiği hem de geri dönüştürülemeyen atıklar arasında yer aldığı için çevre problemlerini ortaya çıkardığı bilinmektedir. Doğada çözülmesi çok uzun yıllar alan plastik atıklar, uzun süre olma sürecinde besin zincirine girerek toprak ve su kirleticileri olarak çevreye verdiği olumsuz etkilerden dolayı ekosistemin dengesini de bozmaktadırlar (Durak, 2016). Çevreye atılan veya bırakılan katı atıklardan; plastik malzemelerin 1000 yılda da ayrıştığı belirtilmektedir (Anonim, 2014; Güzey ve Atılğan, 2015). Yapılan araştırmalar, mikro plastiklerin toprakta çürümeden yıllarca kalabildiğini ve dolayısıyla mikro plastiklerin toprakta yaşayan organizmalar üzerinde olumsuz etkilerini göstermektedir (Denizli ve Yavuz, 2017). Bunun yanında; plastik poşetler toprakta ayrışmadığı için arazide kalmakta ve bitkilerin büyüme sürecini geciktirmektedir. Bitki kökleri besin maddelerine ulaşmak için toprağın içinde hareket ederken, çok ince de olsa plastik poşetleri delemedikleri için besinlere ulaşamazlar ve gelişme sürecini zamanında tamamlayamazlar (Kılıçer, 2018). Böyle bir durum ile karşılaşılması özellikle üretimin sezonluk olarak gerçekleştiği örtü altı tarımında hem ürün kalitesinin bozulması açısından hem de ürünün pazara sunulma süresi açısından istenmeyen bir durum olarak değerlendirilebilir. Organik atıkların doğadaki bozulma ve parçalanma süreleri kısa olup, inorganik maddelerin (PE örtü malzemesi) doğada çok daha özenle bertaraf gereklidir. Günümüzde tekrar değerlendirmenin maddi olarak kazanç getirmesi plastik kökenli maddelerin çevresel etkilerinin biraz da olsa azaltmıştır. Üreticilerin %26,6'sı yakma yolu ile imha ettiğini belirtmesine karşın %18,8'inin hurdacıya sattığını söylemesi bu

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan değerlendirmelerde ortaya çıkan sonuçlara göre, Manavgat ilçesi ve yöresindeki seralarda pestisit ve gübre uygulamalarında hataların yapıldığı ancak uygulamalarda düzeltilmeler olduğu gözlenmiştir. Özellikle tarımsal kuruluşların ve çevre etkilerinin sıklıkla bahsedilmesinin bu iyileşmeyi artırdığı düşünülmektedir. Üreticilerin hasat sonucu dış ortama bıraktığı bitkisel atıklar, plastik malzemeler, gübreleme sonucu oluşan atıkların genellikle uygun bir şekilde bertaraf edilmeye çalışıldığı ancak yeterli düzeyde olmadığı belirlenmiştir. Üreticilerin ekonomik koşulları, üretilen ürünlerin pazarlama şartları, kullanılan gübre, ilaç, fide, işçilik, örtü malzemesi gibi üretim sezonu boyunca kullandığı tüm parametrelerin ücretlerindeki değişime bağlı olarak atıkları daha bilinçli kullandığı ortaya çıkmıştır. Bu ivmelenmenin devam etmesi arzulanmakta olup, çevre bilincinin gelişebilmesi için gerek kamu çalışanlarının gerekse özelde çalışan Ziraat Mühendislerin tarımsal yayım çalışmalarına katkıda bulunması beklenmektedir. Yapılan araştırmaya göre üreticilerde daha iyi bir çevre bilincinin oluşabilmesinin ancak verimli ve süreklilik isteyen bir yayım süreci ile sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Belirli zamanlarda üreticiler ile bir araya gelerek gerekli eğitimlerin verilmesi ve sertifikasyon süreçleri bu anlamda büyük rol oynamaktadır. Yetiştiricilikte kullanılan gübre ve pestisitlerin yeniden dönüştürülebilir şekilde devlet desteği ile alınması çevre kirliliği açısından bir önlem oluşturabileceği ön görülmektedir. Bilindiği üzere, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından çevre kirliliğinin azaltılmasına yönelik olarak uygulamaya konulan market ürünlerinde kullanılan plastik poşetlerin ücretli olması kullanım miktarlarını azaltmıştır.

Kaynaklar

- Anonim, 2014. Atıklar ve Çevreye Etkileri.. <https://www.bilgiustam.com/atiklar-ve-cevreye-etkileri/> (Erisim Tarihi: 01.03.2020)
- Anonim, 2015. FAO Reports the State of Food in Security in the World <http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf> Erişim tarihi ve adresi: 03.05.2018 (English)
- Baytorun (2016), Seralar, Sera Tipleri, Donanım ve İklimlendirilmesi. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim ve Danışmanlık Tic. Ltd.şti.Yayın No: 1654
- Büyüktaş, K., Atılğan, A., Tezcan, A. 2016. Tarımsal Üretim Yapıları. SDÜ Ziraat Fakültesi Yayınları: 101, Ders Kitabı, Isparta, 253s.
- Anonim, 2021a. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2020 Yılına Ait Türkiye Örtüaltı Alanı Miktarı Verileri <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim Tarihi: 16.06.2021)
- Anonim, 2021b. Vikipedi, Manavgat (İklim ve Bitki Örtüsü, Coğrafi Konum, Ekonomi). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Manavgat> (Erişim Tarihi: 03.08.2021)
- Atılğan, A., Coşkan, A., Saltuk, B., Erkan, M. 2007. Antalya Yöresindeki Seralarda Kimyasal ve Organik Gübre Kullanım Düzeyleri ve Olası Çevre Etkileri, Ekoloji, 15(62):37-47.
- Boyacı, S., Akyüz, A., Baytorun, A.N., Çaylı, A. 2016. Kırşehir İlinin Örtüaltı Tarım Potansiyelinin Belirlenmesi Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi 5(2):142-157 2016 DOI: 10.17100/nevbitlek.284738.
- Boyacı, S. 2018. Kırşehir ve Antalya İlleri İçin Seraların Isı Gereksiniminin Belirlenmesi ve Isıtmada Kullanılan Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi 21(6): 976-986. doi: 10.18016/ksutarimdoga.vi.464627
- Oğuz, C., Karakayacı, Z., 2017. Tarım Ekonomisinde Araştırma ve Örneklem Metodolojisi, Atlas Akademi 1. Basım ISBN:978-605-82785-2-3 Konya.
- Denizli, A., Yavuz, H., 2017. Mikroplastikler ve Dünyamız. TÜBA-Günce Dergisi, (55), 64-66.
- Durak, S.G., 2016. Investigation and Evaluation of the Effect to Environmental Pollution of Plastic Shopping Bags. Turkish Journal of Scientific Reviews, 9(2), 20-24.
- Eker M.M. 2012. Jeotermal Seralarda Hedef, 30 Bin Hektar. Jeotermal Belediyeler Dergisi Sayı 6. s.5-14 6: http://jkbb.org.tr/User_Files/jkbb_dergi_6.pdf (Erişim Tarihi: 01.02.2020).
- Ertop H., Atılğan A. 2017. The Determination of Properties of Heating and Cooling Systems In Greenhouse. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2017/ III (2), Page: 1115-1129.
- Ertop. H., 2017. Seralarda Isıtma ve Serinletme Özelliklerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s, Isparta.
- Emekli, N.Y., Büyüktaş, K. 2009. Mersin İli Anamur İlçesindeki Muz Seralarının Mevcut Durumu Üzerine Bir Araştırma. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi. Vol.: 22 (1):23-38.
- Güzey, S., Atılğan, A. 2015. Sera Yetiştiriciliğinde Kirlenme Faktörlerinin Belirlenmesi: Denizli İli Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 10 (2):22-33.
- Jack T. Trevors, 2001. Water, Air and Soil Pollution. An International Journal of Environmental Pollution. Volume 128, Issue 3/4.
- Kalıpçı, N., Özdemir, C. ve Öztaş, H. 2011. Çiftçilerin Pestisit Kullanımı ile İlgili Eğitim ve Bilgi Düzeyi ile Çevresel Duyarlılıklarının Araştırılması. Tübv Bilim Dergisi 4 (3): 179-187.
- Kılıçer, E., 2018. Plastik Poşet Vergisi ve Örnek Ülke Uygulamaları. Vergi Sorunları Dergisi, (357), 55-64
- Kızıloğlu Algan, F., T., Bilen, S., 2005. Toprak Kirlenmesi ve Biyolojik Çevre. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36 (1), 83-88.
- Parlakay, O., Çelik, A., Kızıltuğ, T. 2015. Hatay İlinde Tarımsal Üretimden Kaynaklanan Çevre Sorunları ve Çözüm Önerileri, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Hatay, 1300-936620(2):17-26.
- Tanrıvermiş, H., 2000. Orta Sakarya Havzası'nda Domates Üretiminde Tarımsal İlaç Kullanımının Ekonomik Analizi. Ankara Üniversitesi. Proje Raporu 2000-4
- Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S., 2010. Tarım İlaçları Kullanımı ve Riskleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(2), 154-169.
- Tüzel, Y., G.B. Öztekin, 2015. Protected Cultivation in Turkey. Chronica Horticulturare, 55(2):21-26.
- Yüzbaşıoğlu, R., 2019. Tokat İli Merkez İlçe Kırsalında Üreticilerin Toprak Analizi Yaptırma Eğilimleri. Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi, 8 (1), 163-169.



Chemical Fingerprinting of the Geranium (*Pelargonium graveolens*) Essential Oil by Using FTIR, Raman and GC-MS Techniques

Nur Cebi¹

^{1*} Yıldız Technical University, Chemical and Metallurgical Engineering Faculty, Food Engineering Department, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5509-0985), nurcebi@yildiz.edu.tr

(First received 11 June 2021 and in final form 28 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.969661)

ATIF/REFERENCE: Çebi, N. (2021). Chemical Fingerprinting of the Geranium (*Pelargonium graveolens*) Essential Oil by Using FTIR, Raman and GC-MS Techniques. *European Journal of Science and Technology*, (25), 810-814.

Abstract

Geranium oil is known as a floral substitute for rose essential oil with its pungent rose-like odor and is one of the most valuable essential oils. Favorable quality properties make the geranium essential oil exigible for food industry applications. This study determined the chemical fingerprint of geranium essential oil using robust vibrational spectroscopy techniques (Fourier transform infrared spectroscopy and Raman spectroscopy). The mid-infrared characterization was accomplished on the basis of functional chemical groups of geranium essential oil. GC-MS (gas chromatography-mass spectroscopy) technique was used for the detection and quantification of the volatile constituents of geranium essential oil. 37 (thirty-seven) volatile compounds were determined by the GC-MS analysis. The most abundant compounds were determined as citronellol (30.68 %), geraniol (9.68%) and citronellyl formate (9.90%).

Keywords: Geranium essential oil, FTIR, Raman, GC-MS

İtır (*Pelargonium graveolens*) Uçucu Yağının FTIR, Raman ve GC-MS Teknikleri Kullanılarak Kimyasal Parmak İzinin Tespit Edilmesi

Öz

İtır uçucu yağı, keskin gül benzeri kokusu ile gül esansiyel yağının bir çeşit ikamesi olarak bilinir ve en değerli esansiyel yağlardan biridir. Eşsiz kalite özellikleri, ıtır esansiyel yağını gıda endüstrisi uygulamaları için çekici kılmaktadır. Bu çalışma, güçlü titreşim spektroskopisi teknikleri (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ve Raman spektroskopisi) kullanarak ıtır esansiyel yağının kimyasal parmak izini belirlemiştir. FTIR ve Raman karakterizasyonları, ıtır esansiyel yağının fonksiyonel kimyasal grupları temelinde gerçekleştirilmiştir. İtır uçucu yağının uçucu bileşenlerinin tespiti ve miktarının belirlenmesi için GC-MS (gaz kromatografisi-kütle spektroskopu) tekniği kullanılmıştır. 37 (otuz yedi) uçucu bileşen GC-MS analizi ile belirlenmiştir. Relatif olarak en bol miktarda bulunan bileşikler sitronellol (%30.68), geraniol (%9.68) ve sitronelil format (%9.90) olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İtır uçucu yağı, FTIR, Raman, GC-MS, kimyasal parmak izi

* Corresponding Author: nurcebi@yildiz.edu.tr

1. Introduction

Essential oils are “golden” natural extracts with high commercial worth and wide usage area. In recent years, natural products, natural extracts and non-synthetic materials gained importance (Boukhatem et al., 2013). Especially essential oils with their wide application area, health beneficial properties and industrial importance came into prominence. Essential oils are desired by flavor, fragrances, cosmetics, aromatherapy, and phytomedicine industries oils due to their functional and unique chemical structures and properties (Cebi et al., 2021a).

Geranium (*Pelargonium graveolens*) belongs to Geraniaceae family and it is widely cultivated in Reunion Island, Madagascar, Egypt (North African-type) and China, and more recently in India (Gomes et al., 2004). Geranium oil has been known as a floral substitute of rose essential oil with its pungent rose-like odor and is one of the most valuable essential oils (Rezaei Nejad and Ismaili, 2014). Previous studies reported that rose-scented geranium essential oil is widely used in cosmetic and food flavor industries. Other beneficial properties of geranium essential oil can be listed as antibacterial, antifungal, anti-inflammatory, spasmolytic, antidiabetic and hypoglycemic effects. Additionally, geranium essential oil is generally recognized as safe (GRAS) and approved by the American Food and Drug Administration (FDA) (Boukhatem et al., 2013). Due to the industrial importance and significant quality properties, various studies were published for investigation of the chemistry and constituents of the geranium essential oil using robust instrumental analysis techniques. Guerrini et al. (2011) utilized gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and nuclear magnetic resonance (NMR) techniques for chemical fingerprinting of the South-African *Pelargonium capitatum* (Geraniaceae) essential oil (Guerrini et al., 2011). Afifi et al. (2014) used GC-MS solid phase microextraction method to evaluate chemical composition of the *pelargonium* essential oil and the activity of the essential oil against pancreatic triacylglycerol lipase, α -amylase and α -glucosidase. In another study, Dyubeni et al. used GC-MS (gas chromatography-mass spectroscopy) technique to determine the chemical composition and main volatile compounds of rose-scented geranium (Dyubeni et al., 2012). The gas chromatography mass spectroscopy (GC-MS) technique especially could be regarded as the gold standard since the combination of gas chromatography with mass spectroscopy provides opportunities for the identification of unknown components with high accuracy (Tulukcu et al., 2019). As powerful techniques, FTIR (Fourier transform infrared) and Raman spectroscopy techniques can be utilized for the determination of the chemical fingerprint of geranium essential oil. Vibrational spectroscopy techniques such as FTIR and Raman has been reported as fast, easy to operate, accurate, strong, and economical analytical techniques that provide specific fingerprint information about the chemical structure of materials (Cebi et al., 2021b)

Essential oils are high-valued natural extracts with high commercial worth and wide usage area. In recent years, natural products, natural extracts and non-synthetic materials gained importance. The current research is built for the identification of the chemical fingerprint of geranium essential oil by using GC-MS, FTIR and Raman techniques. To the best of our knowledge, this study is the first attempt that used three different analytical

techniques for the chemical fingerprinting of the precious Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil.

2. Material and Method

2.1. Equipment

A Rigaku Progeny X2 spectrometer (Rigaku Raman Technologies, Wilmington, DE, USA) was used for Raman measurements at the spectral range of 200 and 2000 cm^{-1} . FTIR spectra were collected using single-bounce FTIR spectra coupled with ATR (attenuated total reflectance) accessory. Total ion chromatogram was obtained by using GCMS-QP2010 gas chromatography-mass spectrometer system (Shimadzu, Milan, Italy). Volatile compounds and their relative abundance was determined by comparison of the GC-MS data with the commercial libraries of NIST27 and WILEY7.

2.2. Material

The geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil was obtained from a reliable essential oil producer. The steam distilled *Pelargonium graveolens* (leaves and tops) was certified as 100 % pure and natural by the legal regulations. The appearance, odor, refractive index, specific gravity, optical rotation and solubility values were reported as “pale yellow to light greenish-yellow colored liquid”, “very fresh, lightly floral, lemony-rosy aroma”, “1.465”, “0.889”, “ -18° to -7° ”, “soluble in alcohols and fixed oils; insoluble in water”, respectively. Additionally, odor quality was reported as excellent. The geographical origin of the geranium (*Pelargonium graveolens*) was Egypt.

2.3. Raman Spectral Acquisition

Raman spectral acquisition was performed at room temperature. Standardization and calibration of the Rigaku Raman spectrometer was performed using a benzonitrile standard solution prior to the measurements. Spectra were collected through Raman vials. Measurement parameters of laser, laser power and exposure time were determined as 1064 nm YAG laser, 0.25 W and 0.851 s, respectively. The spectral acquisition was performed for five times and an average spectrum was obtained.

2.4. FTIR Spectral Acquisition

FTIR measurements were performed at room temperature. Samples were placed on the diamond crystal of ATR accessory (single-bounce) by using a pipette at the constant volume of 20 μl . The spectral acquisition was performed with the resolution and accumulation values of 4 cm^{-1} and 16 scans, respectively. Instrument control and data acquisition was performed by the software of FTIR spectrometer (OPUS program Version 7.2 (Bruker GmbH). All measurements were scanned against the background air spectrum.

2.5. GC-MS Analysis

GC-MS analyses were performed according to the previous publications (Cebi et al., 2021b) with slight modifications. Restec 5MS fused silica capillary column (30m x 0.25mm x 0.25 μm) was used for chromatographic separation. Oven temperature was adjusted as: 40 $^\circ\text{C}$ for 3 min, 100 $^\circ\text{C}$ (8 $^\circ\text{C}/\text{min}$), 200 $^\circ\text{C}$ (5 $^\circ\text{C}/\text{min}$), 250 $^\circ\text{C}$ (10 $^\circ\text{C}/\text{min}$), 250 $^\circ\text{C}$ (10 min). The flow rate of the He gas was adjusted as 1 mL/min.

Diethyl ether diluted samples (1:10) were injected to the system at the injection volume of two μL (split ratio of 1/10). The mass scan was performed at the mass range of 35 to 650 (m/z). Identification and quantification of volatile constituents was accomplished by comparison of using the total-ion chromatogram with the commercial libraries (NIST27 and WILEY7) of the GC-MS system. The quantity of each detected constituent was calculated on the basis of relative abundance.

3. Results and Discussion

3.1. Interpretation of the FTIR spectrum of geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil

FTIR spectrum of the Geranium (*Pelargonium graveolens*) is presented in **Figure 1**. As it can be seen from the **Figure 1**, significant bands were observed at 3354, 2961, 2916, 2871, 1728, 1713, 1451, 1377, 1173, 1057, 1008, 831 and 737 cm^{-1} . The peak at 3354 cm^{-1} may be due to the O-H stretching vibrations of alcohols in the composition of geranium oil. The peak at 2961 cm^{-1} is resulted from the C=C-C ring vibrations of volatile compounds (Cebi et al., 2021b). The significant bands at 2916 cm^{-1} and 2871 cm^{-1} may be attributed to the -C-H, -CH₂ asymmetric stretching and -C-H, -CH symmetric stretching vibrations, respectively (Taylan et al., 2021). The bands at 1728 and 1713 cm^{-1} may be assigned to the carbonyl (C=O) stretching vibrations (Agatonovic-Kustrin et al., 2020). The sharp peaks at 1451 and 1377 cm^{-1} may correspond to the CH₂ deformation and asymmetrical CH₃ deformation vibrations (Agatonovic-Kustrin et al., 2020). The sharp band at 1173 may be assigned to the C-O stretching vibrations (Berechet et al., 2015). The bands at 1008 and 831 cm^{-1} may correspond to the methylene vibrations and C-H out-of-plane bending vibrations, respectively (Agatonovic-Kustrin et al., 2020 & Cebi et al., 2021b).

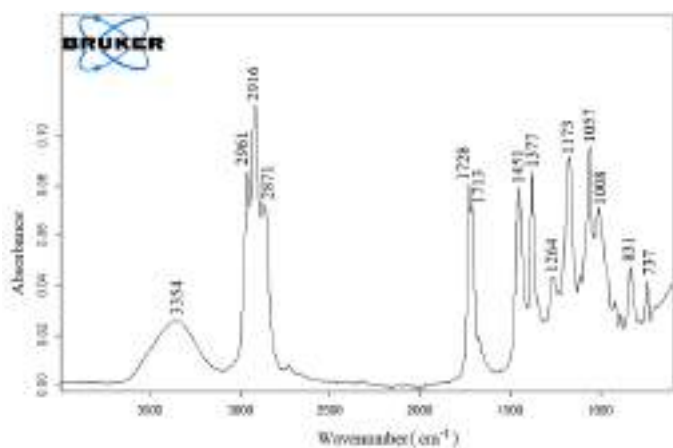


Figure 1. ATR-FTIR spectrum of Geranium (*Pelargonium Graveolens*) essential oil at the spectral range of 4000-600 cm^{-1} .

3.2. Interpretation of the Raman spectrum of Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil

The Raman spectrum of the Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil is presented in **Figure 2** at the spectral range of 2000-200 cm^{-1} . One can clearly see that significant

bands are observed at 1670, 1455, 1385, 1346, 1301, 1108, 1007, 800, 450 and 301 cm^{-1} . The sharpest bands at 1670 cm^{-1} and 1455 cm^{-1} correspond to the C=C stretching vibrations and CH₃/CH₂ bending vibrations, respectively (Jentzsch et al., 2015). The narrow and sharp Raman band at 1385 cm^{-1} is due to the CH₃ bending (attached to a C=C) vibrations (Cebi et al., 2021b). Two bands at 1346 and 1301 cm^{-1} may be assigned to the CH₃ bending (attached to a C=C) vibrations and =CH rocking vibrations, respectively (Jentzsch et al., 2015). The widest bands with low intensity at 1007 and 800 cm^{-1} may be assigned to the CH bending vibrations and C-O stretching (alcohol) vibrations, respectively (Cebi et al., 2021b).

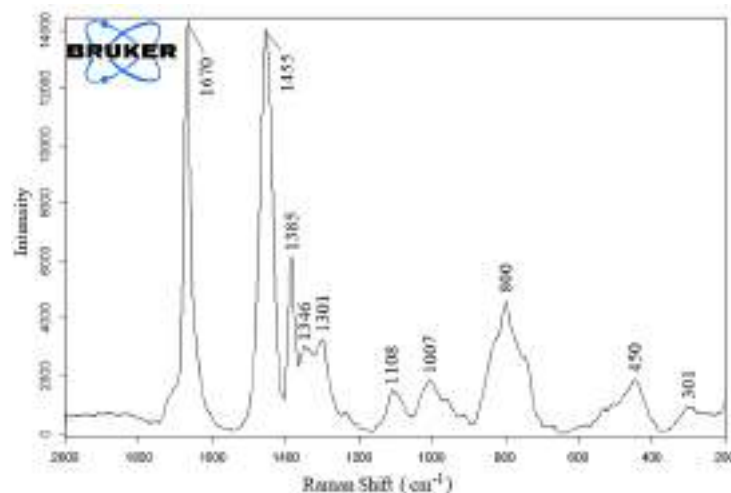


Figure 2. Raman spectrum of Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil at the spectral range of 2000-200 cm^{-1} .

3.3. Volatile Compound Composition of Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil

Volatile compounds of the Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil were determined by using GC-MS technique. The relative percentages of the detected compounds are presented in **Table 1**. The relative quantity of each constituent was determined by comparison of the GC-MS data with the commercial databases (NIST 27 and WILEY 7) of GC-MS system. The identification of these compounds were performed by comparison of the total ion chromatogram with the commercial libraries (NIST27 and WILEY7) of the GC-MS instrument. 37 (thirty-seven) volatile compounds were determined by the GC-MS analysis. Detected volatile compounds of the Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil represented the 99.34% of whole essential oil composition. The relative content (%) of each volatile compound of the geranium essential oil was calculated on the basis of the peak area.

Table 1. Composition (%), retention time (R.T.) and volatile compounds in Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil

Content (%)	Chemical Name	R.T ^a
0.11±0.02	β-Myrcene	9.99
0.12±0.03	β-Ocimene	11.32
0.18±0.04	Linalool oxide cis	12.00
4.23±0.05	Linalool	12.91
3.86±0.07	Rose oxide B	13.17
0.1±0.06	Isopulegol	14.23
2.18±0.03	p-Menthone	14.49
5.2±0.01	L-menthal one	14.87
0.97±0.15	p- Ment-1-en-8-ol	15.6
0.94±0.06	α - Citronellol	16.43
30.68±0.09	Citronellol	17.11
9.68±0.02	Geraniol	17.76
9.90±0.44	Citronellyl formate	18.15
2.72±0.02	Geraniol formate	18.80
0.56±0.12	Oxiranemethanol	19.74
1.07±0.25	6-Octen-1-ol	20.14
0.2±0.05	1,7-Octanediol	20.41
1.86±0.02	2,6-Octadien-1-ol	20.98
0.24±0.03	2,6,10-Dodecatrien-1-ol	21.30
2.32±0.02	α-Gurjunene	21.83
1.66±0.36	Caryophyllene	22.12
3.21±0.05	Citronellyl propionate	22.54
0.1±0.08	Neryl acetate	22.77
0.62±0.02	α -Humulene	22.97
1.75±0.01	Geranyl propionate	23.32
0.37±0.07	Azulene	23.42
0.22±0.06	β -Selinene	23.82
0.34±0.03	α-Selinene	24.01
0.15±0.17	Ledol	24.24
3.47±0.28	Citronellyl butyrate	24.68
2.44±0.08	Geranyl butyrate	25.45
2.6±0.38	Phenylethyl tiglate 2	26.14
0.2±0.09	Caryophyllene oxide	26.82
0.16±0.16	2-Dodecenal	27.09
2.1±0.05	Citronellyl propionate	27.94
2.76±0.64	Geranyl tiglate	28.73
0.07±0.05	Thiogeraniol	33.60
99.34		

4. Discussion and Conclusions

Geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil has considerable economic and industrial importance. Favorable flavor of geranium essential oil and health-beneficial properties such as antibacterial, antifungal, anti-inflammatory, spasmolytic and antidiabetic effects makes the geranium essential oil appealing for food industry applications. This research

investigated the chemical fingerprinting properties of geranium essential oil using vibrational spectroscopy and gas chromatography mass-spectrometry. Quite limited studies were performed to reveal chemical characterization of geranium essential oil. To the best of our knowledge, only one study made contributions about the FTIR characterization of geranium essential oil, Bounass et al. (2018) studied the counterfeit identification of essential oils through middle infrared study, in this valuable study, they general characterized the ATR-FTIR spectra of commercial essential oils (Bounaas et al., 2018). In the scope of this current study, specific vibrational spectroscopy (FTIR & Raman) characterization was performed for geranium essential oil. The functional chemical groups which are specific to the geranium essential oil were determined by FTIR and Raman techniques. Spectra from the MIR region are commonly used for structural identification (fingerprinting) of organic compounds because the absorption bands are caused by fundamental vibrations of a specific functional group (Rodriguez-Saona and Allendorf, 2011). Although quite limited studies were reported about the characterization of the geranium essential oil, lots of valuable studies were reported that proved the capability and effectiveness of vibrational spectroscopy (FTIR&Raman) for quality evaluation of various essential oils (Bounaas et al., 2018; Cebi et al., 2021b; Do et al., 2015; Taylan et al., 2021).

Additionally, GC-MS technique was used for detection and quantification of the volatile constituents of geranium essential oil. The most abundant compounds were determined as citronellol (30.68 %), geraniol (9.68%) and citronellyl formate (9.90%). Several studies were dedicated for the determination of the volatile compounds in the composition of the geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil using GC-MS technique. Consistently with our results, Mnif et al. (2013) determined the most abundant volatile compounds as citronellol (27.53 %) and geraniol (25.85 %) in *Pelargonium graveolens* leaves essential oil (Mnif et al., 2011). In the current research, citronellol content was determined as 30.68 %, similarly, Boukhatem et al. (2013) showed that rose-scented geranium essential oil (Algeria) had 30.2 % citronellol content (Boukhatem et al., 2013). They also detected citronellyl formate at the concentration of 9.3%. In our study, citronellyl formate was determined at the concentration of 9.90%. Additionally, while the geraniol content was reported as 7.6 % in their study, it was determined as 9.68% in the current research. In another research, citronellol content and p-menthone content were reported as 48.44% and 6.96%, respectively (Mousavi et al., 2014). In the current research, p-menthone content was quantified as 2.18 %. Jalali-Heravi (2006) presented the essential oil components of Iranian geranium oil using GC-MS analysis. They reported the linalool, trans-Rose oxide, l-menthone, beta-citronellol, geraniol and citronellyl formate contents as 3.07%, 1.72%, 2.1%, 47.46%, 8.74% and 11.00%, respectively (Jalali-Heravi et al., 2006). In the present research, linalool, Rose oxide B, p-menthone, citronellol, geraniol and citronellyl formate contents were determined as 4.23%, 3.86%, 2.18%, 30.68%, 9.68 % and 9.90%, respectively. In general quite compatible volatile compound results were observed but little differences may be observed because of the climatic and geographic factors.

As conclusion, this study presented the FTIR and Raman chemical fingerprint of geranium essential oil. FTIR and Raman results showed the functional chemical groups which are unique for the geranium essential oil. GC-MS results revealed the

volatile compound composition of geranium essential oil using the superiorities of the mass detector. Major volatile compounds were determined as citronellol, geraniol and citronellyl formate. Chemical characterization of geranium essential oil will shed light to the researchers and industrial applicators to develop new commercial products in the sectors such as cosmetics, food and beverage, alternative medicine, aromatherapy and cleaning and home.

References

- Agatonovic-Kustrin, S., Ristivojevic, P., Gegechkori, V., Litvinova, T.M., and W. Morton, D. (2020). Essential oil quality and purity evaluation via FT-IR Spectroscopy and pattern recognition techniques. *Appl. Sci.*, 10, 7294.
- Berechet, M.D., Calinescu, I., Stelescu, M.D., Manaila, E., Craciun, G., Purcareanu, B., Mihaiescu, D.E., Rosca, S., Fudulu, A., Niculescu-Aron, I.G., et al. (2015). Composition of the essential oil of *Rosa damascena* Mill. cultivated in Romania. *Rev. Chim.*, 66, 1986–1991.
- Boukhatem, M.N., Kameli, A., and Saidi, F. (2013). Essential oil of Algerian rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*): Chemical composition and antimicrobial activity against food spoilage pathogens. *Food Control*, 34, 208–213.
- Bounaas, K., Bouzidi, N., Daghbouche, Y., Garrigues, S., de la Guardia, M., and El Hattab, M. (2018). Essential oil counterfeit identification through middle infrared spectroscopy. *Microchem. J.*, 139, 347–356.
- Cebi, N., Taylan, O., Abusurrah, M., and Sagdic, O. (2021a). Detection of orange essential oil, isopropyl myristate, and benzyl alcohol in lemon essential oil by FTIR spectroscopy combined with chemometrics. *Foods.*, 10, 27
- Cebi, N., Arici, M., and Sagdic, O. (2021b). The famous Turkish rose essential oil: Characterization and authenticity monitoring by FTIR, Raman and GC–MS techniques combined with chemometrics. *Food Chem.*, 354, 129495.
- Do, T.K.T., Hadji-Minaglou, F., Antoniotti, S., and Fernandez, X. (2015). Authenticity of essential oils. *TrAC - Trends Anal. Chem.*, 66, 146–157.
- Dyubeni, L., Mayekiso, B., and Magwa, M. (2012). A comparative study on essential oil yield and composition of rose-scented geranium commercially grown on three different sites of the Amathole region in the Eastern Cape, South Africa. *African J. Agric. Res.*, 7, 5842–5848.
- Gomes, P.B., Mata, V.G., and Rodrigues, A.E. (2004). Characterization of Portuguese-grown geranium oil (*pelargonium* sp.). *J. Essent. Oil Res.*, 16, 490–495.
- Guerrini, A., Rossi, D., Paganetto, G., Tognolini, M., Muzzoli, M., Romagnoli, C., Antognoni, F., Vertuani, S., Medici, A., Bruni, A., et al. (2011). Chemical characterization (GC/MS and NMR fingerprinting) and bioactivities of South-African *pelargonium capitatum* (L.) L'her. (Geraniaceae) essential oil. *Chem. Biodivers.*, 8, 624–642.
- Jalali-Heravi, M., Zekavat, B., and Sereshti, H. (2006). Characterization of essential oil components of Iranian geranium oil using gas chromatography-mass spectrometry combined with chemometric resolution techniques. *J. Chromatogr.*, A 1114, 154–163.
- Jentzsch, P., Ramos, L., and Ciobotă, V. (2015). Handheld Raman spectroscopy for the distinction of essential oils used in the cosmetics industry. *Cosmetics.*, 2, 162–176.
- Mnif, W., Dhifi, W., Jelali, N., Baaziz, H., Hadded, A., and Hamdi, N. (2011). Characterization of leaves essential oil of *pelargonium graveolens* originating from Tunisia: Chemical composition, antioxidant and biological activities. *J. Essent. Oil-Bearing Plants.*, 14, 761–769.
- Mousavi, E.S., Dehghanzadeh, H., and Abdali, A. (2014). Chemical composition and essential oils of *Pelargonium graveolens* (Geraniaceae) By Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC/MS). *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.*, 3, 182–184.
- Rezaei Nejad, A., and Ismaili, A. (2014). Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media. *J. Sci. Food Agric.*, 94, 905–910.
- Rodriguez-Saona, L.E., and Allendorf, M.E. (2011). Use of FTIR for rapid authentication and detection of adulteration of food. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 2, 467–483.
- Sandasi, M., Kamatou, G.P.P., Gavaghan, C., Baranska, M., and Viljoen, A.M. (2011). A quality control method for geranium oil based on vibrational spectroscopy and chemometric data analysis. *Vib. Spectrosc.*, 57, 242–247.
- Taylan, O., Cebi, N., and Sagdic, O. (2021). Rapid screening of mentha spicata essential oil and l-menthol in mentha piperita essential oil by ATR-FTIR spectroscopy coupled with multivariate analyses. *Foods*, 10, 202
- Tulukcu, E., Cebi, N., Sagdic, O. (2019). Chemical fingerprinting of seeds of some salvia species in Turkey by using GC-MS and FTIR. *Foods*, 8, 1–12.



Electrically Driven VTOL Flying Car Designing and Aerodynamic Analysis

Metin Uzun^{1*}, Sezer Çoban²

¹İskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Aircraft Maintenance and Repair Department, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0744-3491), metin.uzun@iste.edu.tr

²İskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Aircraft Maintenance and Repair Department, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6750-5001), sezer.coban@iste.edu.tr

(First received 6 April 2021 and in final form 16 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.910516)

ATIF/REFERENCE: Uzun, M. Coban, S. (2021). Electrically Driven VTOL Flying Car Designing and Aerodynamic Analysis. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 815-821.

Abstract

In this study, the design of the electric powered VTOL Flying car was made in the CAD program, and the longitudinal, vertical and lateral flight dynamics were examined and aerodynamic analysis was made. In the design, the power and propulsion systems of the flying car, avionic systems, security systems, magnetic sensors, navigation landing and take-off methods, requirement verification methods, flight performance values were determined. Our design work for flying cars, which will soon start real-time flights, will guide the people and institutions that will design and produce in this field.

A practical flying car should be able to operate safely and environmentally both in public spaces and in the air. For widespread adoption, it must be able to fly without a qualified pilot as we know it as a controller, and must have appropriate purchase and operating costs. Being a qualified car driver and having a pilot license, which certification processes are extremely difficult, is an important obstacle to the adoption and widespread process of the flying car concept. The certification processes of many different countries have been examined for the flying car we will design. Examination of these processes has been guiding in the creation of detailed data on many issues, and in this context, care has been taken to meet the requested competencies on a common ground. In order to overcome these procedures, a VTOL platform with high autonomy has been designed thanks to its subsystems as well as a stable flight dynamics.

Keywords: Flying Car, Design, Aerodynamic.

Elektrikle Çalışan VTOL Uçan Araba Tasarımı ve Aerodinamik Analizi

Öz

Bu çalışmada, elektrikle çalışan VTOL Uçan arabanın tasarımı CAD programında yapılarak boylamsal, dikey ve yanal uçuş dinamikleri incelenerek aerodinamik analizleri yapılmıştır. Tasarımda uçan arabanın güç ve tahrik sistemleri, aviyonik sistemler, güvenlik sistemleri, manyetik sensörler, seyrisfer iniş ve kalkış yöntemleri, gereksinim doğrulama yöntemleri, uçuş performans değerleri belirlendi. Yakında gerçek zamanlı uçuşlara başlayacak olan uçan arabalara yönelik tasarım çalışmalarımız, bu alanda tasarım ve üretim yapacak kişi ve kurumlara yol gösterecek.

Pratik bir uçan araba, hem kamusal alanlarda hem de havada güvenli ve çevreci bir şekilde çalışabilmelidir. Yaygın olarak benimsenmesi için, kontrolör olarak bildiğimiz nitelikli bir pilot olmadan uçabilmesi ve uygun satın alma ve işletme maliyetlerine sahip olması gerekir. Sertifikasyon süreçleri son derece zor olan kalifiye araç sürücüsü ve pilot ehliyetine sahip olmak, uçan araba kavramının benimsenmesi ve yaygınlaşmasının önünde önemli bir engeldir. Tasarlayacağımız uçan araba için birçok farklı ülkenin sertifikasyon süreçleri incelendi. Bu süreçlerin incelenmesi birçok konuda detaylı verilerin oluşturulmasında yol gösterici olmuş ve bu kapsamda talep edilen yetkinliklerin ortak bir paydada karşılanmasına özen gösterilmiştir. Bu prosedürlerin üstesinden gelebilmek için alt sistemleri ve stabil uçuş dinamiği sayesinde yüksek otonomiye sahip bir VTOL platformu tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uçan Araba, Tasarım, Aerodinamik

* Corresponding Author: metin.uzun@iste.edu.tr

1. Introduction

A practical flying car should be able to operate safely and environmentally both in public spaces and in the air. For widespread adoption, it must be able to fly without a qualified pilot as we know it as a controller, and must have appropriate purchase and operating costs. Being a qualified car driver and having a pilot language, for which certification processes are extremely difficult, are an important obstacle to the adoption and widespread process of the flying car concept. The certification processes of many different countries have been examined for the flying car we designed. Examination of these processes has been guiding in the creation of detailed data on many issues, and in this context, care has been taken to meet the requested competencies on a common ground. In order to overcome these procedures, a VTOL (Vertical Take-off Landing) platform with high autonomy has been designed thanks to its subsystems, as well as a stable flight dynamics.

During the design phase of flying cars, aerodynamics and mechanical parts should be evaluated according to the determined needs and conditions, and the choices should be made by considering the alternatives. The fulfillment of this condition is directly related to the design of the software and hardware systems that will determine the characteristics of flying cars and will be planned in the next step. On this basis, mechanical components and aerodynamic calculations can be evaluated under three main headings; Airframe / Wing, Engine / Propeller Aircraft-Land Vehicle Configuration. Aerodynamic forces that should be considered before selecting these components; Lift, Thrust, Gravity and Drag, and these calculations are based on the "Mathematical Aerodynamic Description" obtained by long years of wind tunnel tests on hundreds of wing shapes. has been made. In addition, high-speed land transportation vehicles are subjected to aerodynamic analysis as they are exposed to air loads such as airplanes and similar vehicles. The two most important problems for these vehicles are increased energy consumption and instability due to resistance. The instability is mainly due to the inability of such vehicles to grip the ground well due to aerodynamic transport. In addition, the vortices formed by the separation of the surfaces create vibration, making it difficult to control land vehicles and also negatively affect the comfort. The design of aerodynamic and mechanical systems has been improved by taking all these data into consideration [1-15].

2. Material and Method

2.1 Aerodynamic Analysing of Flying Car

When the literature is examined, it is known that the boundary conditions, from the trailing edge of the wing for numerical solution, should be left 20 times the size of the wing veterinarian, and 15 times the wing veter size in the lower and upper parts of the wing. Figure 1 shows the boundary conditions image for this study. In the definition of boundary conditions, the region where the free flow velocity meets the wing leading edge is defined as the velocity inlet, the area where the flow is separated as the pressure outlet and the other surfaces as the wall.

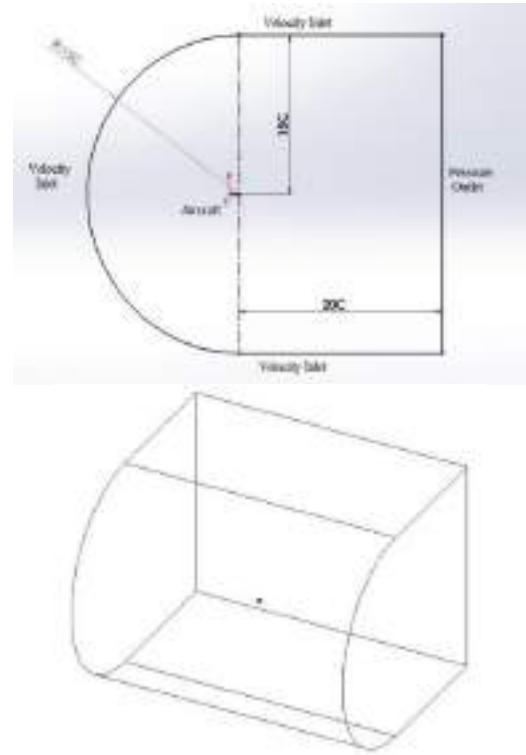


Figure 1. Boundary Conditions

2.1.1. Mesh Properties

Boundary layer creation is one of the most important parts of networking. In order to observe the aerodynamic effects and to obtain the results accurately, the first coat thickness (Y^+) and the total thickness (δ) must be calculated. The Schlichting surface friction formula was used to estimate the local surface friction for a turbulent boundary layer [16]. Valid for $Re < 10^9$.

Y^+ calculation:

Re number calculation:

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot L}{\mu}$$

Surface Drag Calculation:

$$C_f = [2 \log_{10}(Re_x) - 0,3]^{-2,3} \quad Re \leq 10^9 \text{ için}$$

Wall shear stress:

$$\tau_w = C_f \cdot \frac{1}{2} \rho U_{serbestakış}^2$$

Friction Speed:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$$

Wall calculation:

$$y = \frac{y^+ \mu}{\rho u_*}$$

The first boundary layer thickness estimated according to the above equations is taken as 0.00015. Laminar boundary layer thickness is determined using the following equation [17].

$$\delta = \frac{5.0x}{\sqrt{\text{Re}_x}}$$

Mesh properties are given in table 1.

Table 1. Mesh Properties

Face Sizing	0,025 m
Edge Sizing	0,02m
Max Size	0,2
Skewness	0,815
Orthogonal Quality	0,215
Mesh Element Number	2600000

2.2. Flying Car Design and Manufacturability

As in every mechanical design, the financial resource needed for the designs made for flying car systems to be put into production after certain tests and safety criteria are met should be evaluated within the scope of production budgets. It is aimed to index the production cost to a minimum as a result of comparisons we made with the production costs of similar technologies and systems in the aviation field by making many plans in a way that does not pose any threat to the system, and calculating the production costs and times for the systems decided to be used, and the necessary arrangements have been made on the design in this direction. During the design and development process of the product, systematic consideration of production-related issues in a way to facilitate the manufacture and assembly of product components, designs that facilitate production were emphasized and material selection was made accordingly. Flying car technical CAD drawings are shown in figure 2.

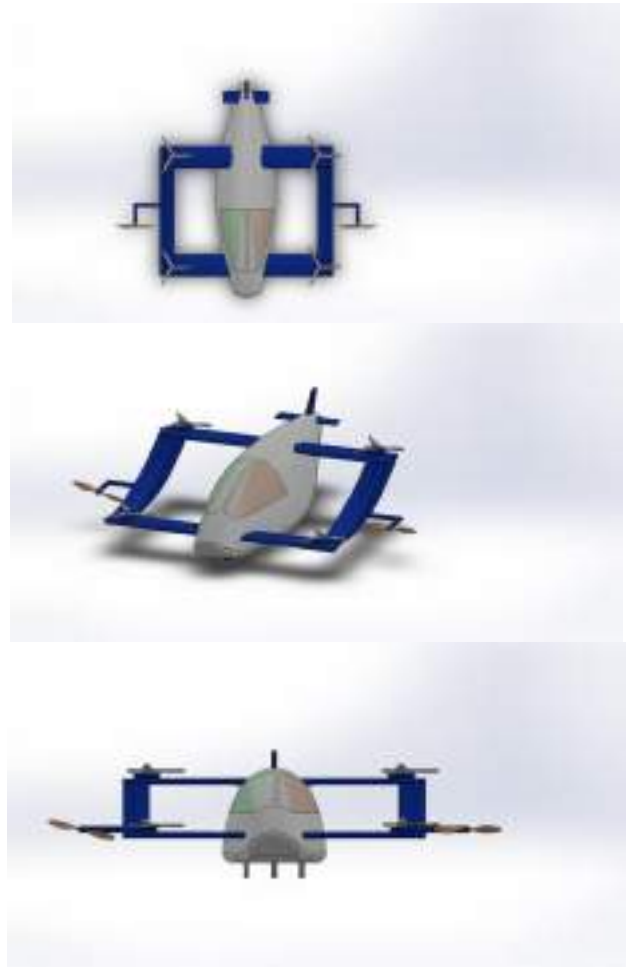


Figure 2. Flying car technical drawings

2.3. Power and Propulsion Systems

The configuration of the propulsion system in flying car design has two stages. During its use as an aircraft, the mathematical model related to the carrier 4 DC motors is specified in the aerodynamics section. In addition, it has been determined that propeller designs create significant differences on bearing forces. In this context, it is planned to make an original propeller design and a special dimensioning system for the vehicle. As a result of researches, the engine selection to be used while the land vehicle is standing was determined as Hub engine. HUB motors are ideal for direct starting to the wheels of electric vehicles. Also, it is long-lasting due to its brushless nature. Since there is no connection in the transmission of electrical energy to the motor in brushless HUB motors, there are no parts that wear out by friction. In terms of energy, since it operates with direct current, the battery units to be placed in the vehicles can be used without any conversion. The wheel, which is one of the biggest forces affecting vehicle power and propulsion, consumes 20% of the engine power alone in different designs. The speed of our vehicle, acceleration, acceleration, stopping distance etc. Such factors depend heavily on the wheel parameters. as the road friction coefficient 0.035 for highways acceptable edilmiştir in Turkey. Considering these data, some choices have been made for the selection of wheels. Its diameter is taken as 20.86 ". Considering these calculations, the type of battery to be selected was initially determined as li-on. However, research on a battery-battery hybrid systems in which two different battery types are used are ongoing. Investigated; The efficiency of these and similar hybrid battery models with an LTO battery, a DC /

DC converter and an NMC battery in each level is calculated. Technical specifications of VTOL Engine, Electronic Speed Controller (ESC) and Lipo Battery are given in table 2.

Table 2. Technical specifications of VTOL Engine, Electronic Speed Controller (ESC) and Lipo Battery

	Type	Weight (g)	Maximum Thrust (g)	Current (A)	Voltage (V)
VTOL Engine	U15 II KV100	1740*4	35500	110.4	44,4
Thrust Engine	F1000 KV510	400*2	5000	45	46
Electronic Speed Controller (ESC)	Type	Weight (gr)	Continuous Current (A)	Peak Current (A)	Lipo
	Flame 80 A HV	106	80	120	6-12S
Lipo Battery	Type	Weight (gr)	Capacity		Voltage (V)
	12s Lipo Battery	4825	21000mAh		44,4V

Brushless motors are being used in many fields with the developing technology, and they have started to be used in the robotic field. These motors are used frequently with radio control. One of the main reasons for their use in this area is their high performance compared to other engines. The advantages of brushless motors such as quieter operation compared to other motors, not creating electrical noise, easier maintenance, longer life, faster operation and having stronger torques have been the criteria that affect our choice. Brushless motors are divided into two groups according to their internal structure: inline brushless motors and outline brushless motors: Outline brushless motors have the rotor part on the outer side and the stator part on the inner side. Stator part is fixed, rotor part is fixed. The characteristics of Outline motors are the opposite of those of Inline motors. Their speed is low but their torque per voltage is higher. For this reason, these engines are used in aircraft[18]. The engine generates the force that enables the flying car to move forward, generate transport and take off, and what is required for land driving. Outrunner Brushless Motor dimensions determine the power of the motor, generating high torque per voltage for the purpose of high speed, efficiency and torque. As the efficiency increases as the motor grows, the optimum value should be chosen since the current drawn in idle will also increase. The working principle of ESC circuits is to send PWM waves to the windings of the motors sequentially. Brushed motors are DC motors and driven by ESC from 2 ends. But brushless motors are three-phase motors and are driven from 3 ends. ESCs used in these motors have a more complex structure than ESCs used in DC motors. They send the DC voltage received from the 2 ends of the battery to the motor as AC with 3 cables. ESCs used for brushless motors work like a frequency converter. They change the number of revolutions depending on the frequency, not the voltage[19]. Esc has been selected with the power to supply the required current to the motor. According to the calculations made, ESC was selected according to the amount of amperes drawn in the maximum gas.

$$F = 1,225 \frac{\pi(0,0254.d)^2}{4} \left[\left(RPM \cdot 0,0254 \cdot pitch \cdot \frac{1}{60} \right)^2 - \left(RPM \cdot 0,0254 \cdot pitch \cdot \frac{1}{60} \right) \cdot V_0 \right] \cdot \left(\frac{d}{3,29546 \cdot pitch} \right)^{1,5}$$

$$F = 4,392399 \times 10^8 \cdot RPM \cdot \frac{d^{3,5}}{\sqrt{pitch}} \cdot (4,23333 \times 10^{-4} \cdot RPM \cdot pitch - *V_0)$$

2.4. Avionic Systems

Pixhawk Cube 2 is the component that will be used for flight control and is the most basic component of the system. Understandable and detailed interface, software programmable and autonomous driving are some of the advantages it provides to us. The fact that it supports both air and land vehicles is one of the most important factors in choosing this controller. It is a serious advantage that the communication protocol (MavLink) it uses allows the use and development / adaptation of the UAV-CAN system, which is a protocol designed for reliable intraveicular communication in aviation and robotic applications, by using the uORB and CAN bus that provides intermediate data transmission. In addition to these protocols, which were created to eliminate the difficulty of the built-in data exchange between the systems and components of the new generation smart vehicles, the width of the sensor range it supports and the ability to communicate with different controllers (Raspberry, Arduino, Jetson TX series) enable the process to proceed in a more secure and systematic way. The auxiliary controllers and sensors to be used will be explained in detail along with their intended use in the following sections of the study.

The total weight of our electric vehicle has been calculated as approximately 110 kg and the capacity of our vtol engines has been determined as 140 kg. In addition, the thrust power of our vehicle's forward thruster engines, which will be activated after reaching a certain altitude with vtol engines, is preferred as 10 kg. Detailed information of compatible esc and lipo batteries for our vtol motors and thruster motors are given in table 2.

2.5. Security Systems

Reliability "is the ability or possibility of a system / tool / equipment to perform and maintain the function expected of it under specified conditions and for a specified period of time. Reliability is expressed in numerical percentage as the probability of operating without failure for a specified period of time. One of the most sensitive points of flying cars in the current situation is that they are seriously affected by adverse meteorological conditions[20].

Strong winds, precipitation and unexpected obstacles reduce the mission performance of the platform considerably, and even many flying cars cannot even fly under some conditions. In this context; During the design phase, all evenings should be evaluated according to the determined needs and conditions and the choices should be made by considering the alternatives. "Drotek Digital Air Velocity Sensor" will be used in order to measure strong air flows accurately. The biggest advantage of being digital is that it can make more reliable and qualified measurements compared to analog sensor data. In addition, it has high sensitivity in terms of the number of data it processes per second. Thanks to the static pressure sensor inside, it also

increases the data quality by measuring the air temperature. Another system to be used to meet basic security needs is "optical flow". Optical Flow uses a camera with a wide viewing angle on the platform and a distance sensor (lidar for high precision) for position estimation. Optical Flow based navigation and "do not detect" system can be connected via MAVLink, I2C or any bus that supports peripherals. System integration and parameter editing can be done through Optical_Flow_Road and Distance_Sensor options. Other issues to be examined about Optical Flow are EKF and LPE. Although it is healthy enough to examine the parameters determined in order to find rotations and estimation and to do the stabilization in this way, to get to the bottom of the subject, mathematical models and estimation methods are also examined by making a literature review on EKF (Extended Kalman Filter). In addition to these two basic safety issues, the parameter references in the pixhawk developer guide (devel-oper guide) and their operating ranges have been examined in detail in order to determine the working ranges of the sensor data regarding motor power, battery status, position, direction and angle. The improvements to be made regarding the methods chosen while creating the sub-systems will be made by following two different methods. 1. Method is Pixhawk and Linux based simulation environment Gazebo, and secondly, data of similar platforms on pixhawk review platform, where all users using pixhawk can share their flight / driving logs, have been examined and will continue to be examined. These logs allow us to make detailed comments about the responses of many different sensors and aerodynamic structures under thousands of different conditions[21].

2.6. Original Value

It was planned to be done in this field by examining the work done in this long period from the first studies in this field to the present in the world, or it was planned to be done in this field, or it was made in the framework of different logics that could cause both hardware and software deficiencies and security violations in all other flying car designs. Considering all kinds of designs, we aimed to create a unique design as a team. 4G telemetry system, user-friendly control software, unique propeller structure and hybrid battery trials are examples.

The high resolution and 360-degree imaging system we have chosen in our design is supported by imaging software that has image processing capability in order to both meet user requests and increase the level of security. 4G / 5G telemetry systems are used on UAVs. The biggest problem of these systems used is that 4G infrastructure is dynamic, so they cannot provide a stable connection. Static IP method has been used to solve this problem. Although it is slightly higher than Dynamic IP in terms of cost, it makes a serious difference in terms of performance of the communication and when it comes to security, this financial burden can be ignored. Another work planned to be carried out will be to switch to the e-simcard application, which has recently become widespread, instead of the sim card, which will be used to provide internet access for the vehicle. Thanks to the vehicle being connected to the internet, the information from the vehicle's sensors will be collected in a database. Thanks to this sensor data, the user will be able to access information about the performance of the vehicle and the life of the vehicle will be longer with this method. Routes previously saved in the database can be examined and, if necessary, 5 routes will be added to the frequently used routes. Another issue related to route creation is the Dynamic Route Calculation system. Even though

alternatives are created in the navigation systems used in mobile phones or in vehicles, these routes have a slightly higher margin of error, especially on long roads. Thanks to the road analysis system to be added to the map service of the vehicle, a selection can be made according to the duration and fuel consumption without neglecting the security conditions. However, if there is unusual traffic on the route or if there is a change in weather conditions, it will be able to update the route instantly by giving a warning. None of the features specified in this section have been encountered in vehicles currently in production in the literature review for flying car designs.

2.7. Reliability of Power-Propulsion-Propulsion Systems

Many different power and propulsion systems are used in today's aircraft. As in every mechanical system, the reliability of every system to be used in flying car design should be considered, and accordingly, the most appropriate system that will not endanger human life should be designed. Based on this principle, we have predicted that the most basic element in our flying car design study that may pose a risk to human life is that the components we use in the power and propulsion systems will threaten the life of the external environment in cases such as rupture and ejection from the vehicle as a result of certain malfunctions or burn out as a result of a malfunction. In order to avoid such negative situations, a protection platform will be placed around the propellers and other similar sharp-edged parts connected to the engines used in the design, preventing them from being thrown out of the vehicle in case of any rupture, and at the same time not causing loss of efficiency by damaging the aerodynamic structure of the vehicle. The internal structure of this platform will be completely covered with non-combustible material and a possible fire will be prevented. In addition, in the control station software of our flying car design, it will gradually disable the problematic section and provide the necessary warnings and instructions to the user through the control panels in the cabin for landing to the closest suitable location (if in the air).

2.8. Magnetic Sensors

Magnetic sensors are sensors that can measure the magnetic values of the field they are in. Due to these features, direction information can be obtained by using them instead of mechanical compasses. Magnetic sensors; It is used to sense the presence, strength and direction of the magnetic field [22].

Just as a magnet can create a magnetic field, current flowing through a conductor can also create a magnetic field. The direction of the magnetic field passing through the conductor can be determined by the right hand rule as explained in physics and hand-electromagnetic theory lessons. It is possible to find different sensitivity types according to the usage areas of the sensors. Sensors with different structures have been designed to measure the magnetic field. Magnetic sensors contain AMR (Anisotropic Magnetoresistance) materials whose resistance changes in the magnetic field. The direction of the current changes depending on the direction of the magnetic field. The direction of the magnetic field is determined according to the direction of the current, and the intensity of the current changes in proportion to the strength of the magnetic field[23]. Earth's magnetic field is around 0.6 gauss, it takes different values on the earth's surface. The earth's rotation axis determines the geographic north and south poles for the map reference to be used. In order to calculate the direction angle with magnetic

sensors, the sensor should be positioned parallel to the earth's surface, there should not be any substance in the environment that could affect the earth's magnetic field and the magnetic deviation of the current position should be known. Sensing elements are combined in the form of a wheatstone bridge, with this connection method, the strength and direction of the magnetic field can be calculated. As soon as current flows through a conductor, create a magnetic field around it. Similarly, current occurs on a conductor exposed to a magnetic field. There are structures within the sensor that will sense the magnetic field that varies according to the number of axes. When these structures are exposed to a magnetic field, they determine the value of the magnetic field according to the current value on it.

Accelerometer and Gyroscope can be combined with various methods. The best method is to stay filter. There are also proportional combining methods other than the Kalman filter. In this thesis, using Accelerometer and Gyroscope together, the angles formed in the X and Y axes called pitch and roll were determined using the proportional combination method. With the angles obtained, undesired state values occurring at magnetic sensor outputs were normalized. First of all, the pitch and roll angles shown in Figure 3-26 need to be calculated. This calculation is made by proportional combination of angles calculated with Accelerometer and Gyroscope. In the sections where accelerometer and gyroscope sensors are explained, it is explained how angles are calculated with these sensors. The combination of accelerometer and gyroscope angles is made according to the following equations.

$$Pitch = (rate * (Pitch + GyroPitch) + ((1 - rate) * AccPitch))$$

$$Roll = (rate * (Roll + GyroRoll) + ((1 - rate) * AccRoll))$$

Gyropitch and Gyoroll refers to angles calculated with gyroscopes and angles calculated with accelerometers. The "ratio" given as a coefficient in the formula is the coefficient indicating how much to trust which sensor. This ratio differs according to the application and is determined by determining the ideal value in order to calculate the necessary deviations. After calculating the pitch and roll (angles, the new values of the X and Y values taken from the magnetic sensor using these angles can be determined through the following equation.

$$XEM\ mag = XM\ mag * \cos + YM\ mag * \sin * \sin - ZM\ mag * \cos * \sin$$

$$YEM\ mag = YM\ mag * \cos + ZM\ mag * \sin$$

3.Results, Conclusions and Recommendations

The flying car weight distribution is given in table 3. The chord line lengths and wingspan of the forward and rear wings of the flying car are given in table 4. In Table 5, lift and drag forces of the flying car at speeds of 15, 30, 45 and 60 m / s are given.

Table 3. Flying car weight distribution

VTOL engine	6800 g
Body weight	5500 g
Battery	4825 g
Propulsion engine	1500 g
Payload	90000 g
Total weight	108625 g

Table 4. Forward and rear wing features

Wing Features		
	Chord (mm)	Wingspan (mm)
Forward Wing	250	1770
Rear Wing	300	1770

Table 5. Lift and drag force

Velocity	15 m/s	30 m/s	45 m/s	60 m/s
Lift Force	146 N	585 N	1317 N	2341 N
Drag Force	1,7 N	6,8 N	15,36 N	27,3 N

In Tables 4 and 5, some technical features of our electric vehicle and the carrying forces it will produce at different speeds are given. Here, the total weight of our electric vehicle is approximately 110 kg, and the forward wing and rear wing veter lengths are 25 and 30 cm. When the forward thruster engines of our vehicle, which is thought to be lifted as vtol, begin to become active, it will begin to gain a certain speed and our wings will gradually load our load due to our wing structure. Our electric vehicle will have a load carrying capacity of 14-230 kg with the numerical analysis we have done in the speed range of 15-60 m/s. When the data in the table is examined, when our vehicle reaches a speed of approximately 40 m/s, it will be able to continue its cruise flight without the need for vtol engines.

Figure 3 shows the static analysis results of the flying car and figure 4 shows the speed analysis on the Y axis.

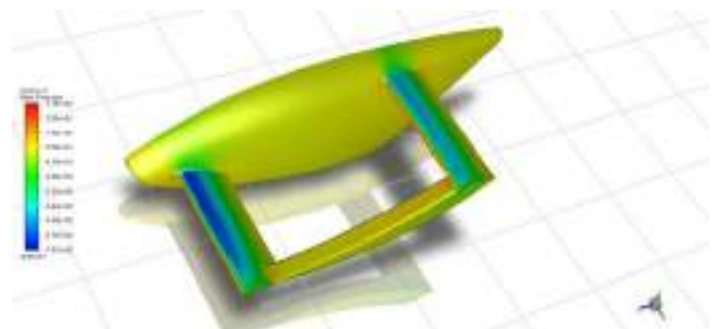


Figure 3. Static pressure analysis

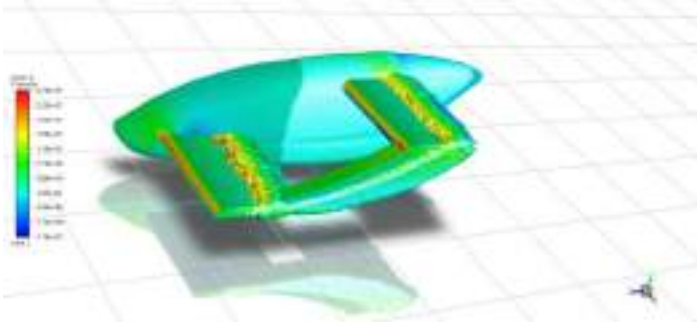


Figure 4. Speed analysis on the Y axis

The technical features of our flying car are given in detail in the above sections, while the front wing veter used here is 25 cm, the rear wing has been chosen as 30 cm in terms of stability control. In our flying car, we have 4 vtol engines and 2 propulsion engines. Until our flying car gains its own weight with the wing carrying force, the vtol engines will continue to work by gradually decreasing. Table 5 shows how much bearing force and drag force are effective at different speeds, here it is seen that vtol motors will completely shut down when they reach a speed of 40 m / s. While the maximum value of drag force is 2.7 kg, the total thrust of our propulsion motors has been selected as 4 kg. For this reason, our aircraft has enough power to carry and push.

References

- [1] Kenaroğlu, Y. (2013). İnsansız Hava Aracı Ne Kadar Güvenilir? Engineer & the Machinery Magazine, (636).
- [2] Arca, N., Cicibaş, H., & Demir, K. A. (2012). İnsansız Hava Araçları için Çok Kriterli Güzergâh Planlama Modeli. Savunma Bilimleri Dergisi, 11(1), 251-270.
- [3] Demir, K. A., Cicibaş, H., & Arca, N. İnsansız Hava Araçları İçin Modüler Bir Simülasyon Tasarım Örneği.
- [4] Dursun, M., & Aksöz, A. İnsansız Bir Hava Aracı Modelinin Üç Boyutlu Tasarımı Analizi ve Simülasyonu.
- [5] Bayraktar, O., Özdemir, F., Çetin, Ö., & YILMAZ, G. (2012). İnsansız Hava Araçları İçin Otonom İniş Sistemi Simülatörü Tasarımı. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 5(2), 1-8.
- [6] Hadi, G. S., Varianto, R., Trilaksono, B., & Budiyo, A. (2014). Autonomous UAV system development for payload dropping mission. The Journal of Instrumentation, Automation and Systems, 1(2), 72-22.
- [7] Çoban, S. (2019). Different Autopilot Systems Design For a Small Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 682-691.
- [8] Başak, H., & Gülen, M. (2010). İnsansız Hava Aracı Kazalarının Önlenmesi İçin Risk Ölçümü Ve Yönetimi Modeli. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), 55-65.
- [9] Sarıkurt, T., & Balıkcı, A. (2017). Tam Elektrikli Araçlar için Özgün Bir Enerji Yönetim Sistemi Uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2).
- [10] Kök, T. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Güvenli Kullanımı için Spektrum İhtiyaçlarının Belirlenmesi ile İlgili Öneriler. Teknik Uzmanlık Tezi, İstanbul, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- [11] Yumruktay, M. K. (2015). GNSS destekli prototip otonom araç tasarımı.
- [12] Oktay, T., & Coban, S. (2017). Lateral autonomous performance maximization of tactical unmanned aerial vehicles by integrated passive and active morphing. International Journal of Advanced Research in Engineering, 3(1), 1-5.
- [13] Çoban, S. (2020). Autonomous performance maximization of research-based hybrid unmanned aerial vehicle. Aircraft Engineering and Aerospace Technology.
- [14] Önal, M., Çoban, S., Yapıcı, A., & Bilgiç, H. H. Dikey İniş Kalkış Yapabilen Bir İHA'nın Azami Menzili ve Asgari Güç Gereksinimi İçin En Uygun Uçuş Parametrelerinin Belirlenmesi. Journal of Aviation, 3(2), 106-112.
- [15] Uysal, A. (2008). Rüzgar türbini kanat malzemelerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi.
- [16] www.cfdonline.com/Wiki/Y_plus_wall_distance_estimation (Date of access: Mart 2020)
- [17] John D. Anderson J., 2010. Fundamentals of Aerodynamics, McGraw-Hillseries in aeronautical and a erospace engineering. s:1104
- [18] Lee, B., Park, P., Kim, C., Yang, S., & Ahn, S. (2012). Power managements of a hybrid electric propulsion system for UAVs. Journal of mechanical science and technology, 26(8), 2291-2299.
- [19] Lih, J., Spahr, E., Behbahani, A., & Hoying, J. (2011, August). Design of hybrid propulsion systems for unmanned aerial vehicles. In 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit (p. 6146).
- [20] Maza, I., Caballero, F., Capitán, J., Martínez-de-Dios, J. R., & Ollero, A. (2011). Experimental results in multi-UAV coordination for disaster management and civil security applications. Journal of intelligent & robotic systems, 61(1), 563-585.
- [21] Dursun, M., & Çuhadar, İ. (2018). Secure Video Streaming Implementation for Unmanned Air Vehicle (UAV) Data Link with Raspberry Pi 3 over https. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 11(1), 23-28.
- [22] Sigurd, K., & How, J. (2003, August). UAV trajectory design using total field collision avoidance. In AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit (p. 5728).
- [23] Eck, C., & Imbach, B. (2011). Aerial magnetic sensing with an UAV helicopter. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38(1/C22).



Investigation of Change in Tumor Volume in Head and Neck Cancers

Yonca Yahsi Celen^{1*}, Orhan Zeybek², Ayse Okumus³, Hazım Orhan Kızılkaya⁴, Tamer Oguz Gursoy⁵

^{1*} Balıkesir University, Medical Faculty, Balıkesir/Turkey, (ORCID: 0000 0002 2869 664X), yoncayahsi@gmail.com

² Balıkesir University, Department of Physics, Balıkesir/Turkey, (ORCID: 0000-0002-8379-3186), orhanzeybek@gmail.com

³ Yeniüzyıl University, Department of Radiation Oncology, Istanbul/Turkey, (ORCID: 0000-0003-4721-0534), ayseokm@gmail.com

⁴ Sisli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital, Department of Radiation Oncology, Istanbul/Turkey, (ORCID: 0000-0001-6946-7539), orhankizilkaya959@yahoo.com

⁵ President of Turkey Health Institutes, Istanbul/Turkey, (ORCID: 0000-0002-2568-2955), tamgursoy@yahoo.com

(First received 10 June 2021 and in final form 31 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.980923)

ATIF/REFERENCE: Celen, Y. Y., Zeybek, O., Okumus, A., Kızılkaya, H. O. & Gursoy, T. O. (2021). Investigation of Change in Tumor Volume in Head and Neck Cancers. *European Journal of Science and Technology*, (25), 822-828.

Abstract

Twenty five patients diagnosed with head and neck cancer in the Radiation Oncology Clinic of Sisli Etfal Training and Research Hospital were included in the study. Major anatomic changes due to weight loss and tumor shrinkage are observed during radiotherapy treatment in most of the patients diagnosed with head and neck cancer. The aim of the study is to examine the changes in the dose distribution of the changes in the patient anatomy due to the weight loss observed during the treatment process and to compare the adaptive radiotherapy technique with the non-adaptive radiotherapy technique. When the treatment plans of the patients were made using the adaptive plan technique, the ipsilateral parotid volume ranged from 15.00±8.57 cc to 10.10±5.85 cc (p=0.046), and the contralateral parotid volume ranged from 12.21±7.34 cc to 7.50±3.55 cc (p=0.002), Ptv 54 volume from 759.8±285.9 cc to 432.4±126 cc (p=0.035), Ptv 60 volume from 338.7±18.9 cc to 185.5±58.5 cc (p=0.003) and total body volume also decreased from 6380±1600 cc to 5230±1570 cc (p=0.001), and a statistically significant decrease was observed using the T-test and Wilcoxon test. While ipsilateral parotid volume decreased at least 15% and maximum 46.3%, contralateral parotid volume decreased at least 16.6% and maximum 46.9%. The dose distribution results obtained from the dose volume histogram (DVH) using the adaptive radiotherapy technique are superior to the dose distribution results obtained without using the adaptive radiotherapy technique. Adaptive radiotherapy technique gives a more effective dose to the target volume and is more effective in protecting healthy tissues at the maximum rate.

Keywords: Head and Neck Cancer, Adaptive Radiotherapy, Computer Tomography (CT) Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT), Cone Beam Computer Tomography (CBCT), Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT).

Tümör Hacminde Meydana Gelen Değişikliğin Baş Boyun Kanselerinde İncelenmesi

Öz

Çalışmaya Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Kliniğinde baş boyun kanseri tanısı konan yirmi beş hasta dahil edilmiştir. Baş boyun kanseri tanısı alan hastaların büyük bir kısmında radyoterapi tedavisi sürecinde kilo kaybı ve tümör küçülmesine bağlı ciddi anatomik değişiklikler gözlenmektedir. Çalışmanın amacı tedavi sürecinde izlenen kilo kaybına bağlı olarak meydana gelen hasta anatomisindeki değişikliklerin doz dağılımlarında oluşturdukları değişiklikleri incelemek ve adaptif radyoterapi tekniği ile adaptif olmayan radyoterapi tekniğini karşılaştırmaktır.

Hastaların tedavi planları adaptif plan tekniği kullanılarak yapıldığında aynı taraf parotis hacmi 15.00±8.57 cc'den 10.10±5.85 cc'ye (p=0.046), karşı taraf parotis hacmi 12.21±7.34 cc'den 7.50±3.55 cc'ye (p=0.002), Ptv 54 hacmi 759.8±285.9 cc'den 432.4±126 cc'ye (p=0.035), Ptv 60 hacmi 338.7±18.9 cc'den 185.5±58.5 cc'ye (p=0.003) ve toplam vücut hacmi de 6380±1600 cc'den 5230±1570 cc'ye (p=0.001) küçülerek istatistiksel olarak T-testi ve Wilcoxon testi kullanılarak anlamlılık düzeyinde değerlendirilebileceğimiz azalma görülmüştür. Aynı taraf parotis hacminde en az %15, en fazla % 46.3 hacim azalması görülürken, karşı taraf parotis hacminde en az % 16.6, en fazla % 46.9 volüm azalması görüldü. Adaptif radyoterapi tekniği kullanılarak doz volüm histogramından (DVH) elde etmiş olduğumuz doz dağılım sonuçları adaptif radyoterapi tekniği kullanılmadan elde edilen doz dağılım sonuçlarına göre daha üstündür. Adaptif radyoterapi tekniği hedef hacime daha etkin doz vermekte ve sağlıklı dokuları maksimum oranda korumada daha etkin bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Baş Boyun Kanseri, Adaptif Radyoterapi, Bilgisayarlı Tomografi (BT), Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART), Volümetrik Ark Tedavisi (VMAT).

* Corresponding Author: yoncayahsi@gmail.com

1. Introduction

Head and neck cancer are often benign tumors; however, they might be fatal and cause death, as well. The indications of the disease and physical examination lead to diagnose the disease, and the final diagnosis is made by biopsy. According to study findings, approximately 45,000 patients have been diagnosed annually, and the mortality rate was detected in approximately 12,000 patients due to neck cancer (Engin & Erişen, 2003; Beyzadeoğlu et al. 2010). Recent studies showed that 6.6% of the cancers arise from head and neck regions (Jiade et al. 2010; James and Kian 2010). According to the recoveries in diagnosis and treatment, survival rates are increased. Male gender, advance age, low income level and advance cancer stage negatively affects the survival rate. As in all cancer types, early diagnosis is of vital importance.

The factors causing head and neck cancers include tobacco usage, alcohol consumption and previous exposure of the head-neck region to the radiation. Ethnic liability is discussed in the generation of nasopharyngeal cancers. Exposure to sunlight for a long time increases the risk of cancer development in forehead, face and lips. Human papilloma virus (HPV) is among the reasons of head and neck cancer development. A patient having the symptoms of primary head and neck cancer has a risk of second primary head and neck cancer within the first 5 years. Malnutrition and suppression of the immune system by any reason might be effective in the development of head and neck cancer Topuz et al. 2006; Maccomb & Fletcher 1967).

Head and neck cancers come through with local or long-distance complaints. Cancers of the nasopharynx (nasal cavity), tongue and hypopharynx (lower lip) remain latent and might appear as swelling. Therefore, a more detailed examination is required in patients having the complaints of swelling in the neck region. In general, the most common symptoms of head and neck cancers include long-lasting mouth sore, aphonia, swelling without pain in neck region (mass), difficulty in swallowing, pain affecting ears, difficulty in breathing, nasal obstruction, nasal flow and weight loss (Sangineti et al. 1997; Gemici et al. 2004).

2. Material and Method

Twenty-five head and neck cancer patients, aged between 18-65 years, diagnosed with nasopharynx, oropharynx, larynx, tongue root and hypopharynx, who were treated at the Radiation Oncology Clinic of Sisli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital, were included in the study. Contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI) and positron emission tomography computed image (PET-CT) were requested under the same conditions as the treatment, after informing and consenting all patients. In addition, standard blood tests were performed before treatment.

The patients were informed about the treatment process and the computed tomography (CT) images of the patients were immobilized by positioning the shoulders downwards by using a thermoplastic head-neck mask and arm puller to provide the patient with the most appropriate comfort. A tongue depressor was also used in patients diagnosed with tongue root cancer.

Planning tomography of the patients was taken in the supine position for planning purposes. It is aimed that the positions of the

patients during the CT image acquisition and during the radiotherapy treatment are the same.

Planning CT's and MRI images of the patients, which were taken at 3 mm intervals, were taken in the same positions where the patients would receive the radiotherapy treatment. Critical organs and tumor volume were drawn by a single physician using the RTOG atlas on planning CT sections to avoid differences in patient contours. Tumor volume and risk of eye, lens, optic nerve, chiasma, pituitary, mandible, temporal lobe, brain stem, medulla spinalis, parotid glands, submandibular gland, oral cavity, temporomandibular joint, larynx, thyroid gland, cochlea, pharynx muscles, and brachial plexus In order to better visualize and contour the organs under it, MRI and PET-CT planning were combined with CT and fusion was performed. The plans of the patients were planned using IMRT and VMAT techniques at 6MV photon energy. Simultaneous integrated boost (SIB) technique was preferred in 13 of the patients with 70 Gy for the tumor and involved lymph nodes, 60 Gy for the medium-risk region, 54 Gy for the low-risk region, in a total of 33 fractions, in 7 patients, only PTV 70 and PTV 54 volume was defined and a total of 20 patients. . With the sequential boost technique, it was planned to receive 50 Gy to the elective irradiated area and 70 Gy to the tumor area and involved lymph nodes in 5 patients. The Eclipse (V.10.0) treatment planning system was used. In the dose volume histogram (DVH), treatment plans were evaluated using the dose limitations routinely applied by our clinic. Brain stem Dmax < 54 Gy, M. Spinalis Dmax < 45 Gy, Brachial Plexus Dmax < 66 Gy, Parotid Mean < 26 Gy, Submandibular Mean < 35 Gy, Thyroid Mean < 45 Gy, Larynx Mean < 50 Gy, Dmax < 66 Gy, Pharyngeal muscles Mean < 50 Gy, Optic nerve Dmax ≤ 54 Gy, Kiazma Dmax ≤ 54 Gy, Mandible Dmax ≤ 70 Gy, Mean ≤ 35-45 Gy, Cochlea Dmax ≤ 60 Gy, Mean ≤ 50 Gy, Oral cavity Dmax ≤ 45 Gy, Mean ≤ 35-40 Gy, Temporal lobe Dmax ≤ 60 Gy, Lens Dmax ≤ 5 Gy, Temporomandibular joint Dmax < 70 Gy.

The patients were treated with the Varian brand Trilogy model linear accelerator device. kV images were taken from the patients every day. Corrections were made by taking and matching the CBCT image every other day. By matching the planning CT and CBCT image of the patients, especially the cervical vertebrae and skull base were seated in the x, y, z coordinate plane.

The weight of all patients was measured before radiotherapy and every week during the treatment period. CBCT images were taken from the patients on the 21-25 days of the radiotherapy treatment. The fusion was performed by matching the patients' CT images in the Eclipse (V.10.0) treatment planning system. A decrease in the GTV tumor volume due to the patient's weight loss and radiotherapy, and accordingly, a loosening of the patient's thermoplastic head-neck mask was observed. The patient's head-neck mask was re-made. As a result, a new CT and MRI were requested from the patient and image matching was performed with fusion. The critical organs and GTV volume were reconstructed by the doctor on the new CT image, and the patient's treatment plan was reconstructed, and a three-day period was allocated for this, during which the patient entered the treatment from the old plan and when the new treatment plan was approved, the patient continued the treatment with the new plan and the new head-neck mask.

The treatment plans of the patients with and without adaptive radiotherapy were compared in terms of target volume and doses. of critical organs over DVH, and treatment gain was evaluated. Chemotherapy was administered to 22 patients simultaneously

with radiotherapy. Statistical evaluation was made with T test and Wilcoxon test. (p:0.05).

3. Results and Discussion

A total of 25 patients participated in the study. Chemotherapy was administered to 22 patients simultaneously with radiotherapy. The number of patients who received only radiotherapy is 3. Critical organ and target volume doses were evaluated over DVH when adaptive radiotherapy technique was applied and when it was not applied.

When the volume variations in target volume, ipsilateral and contralateral parotid parameters of medulla spinalis are examined.

Statistical Analysis Results of PTV 54 Volume:

Anderson-Darling test was performed in order to test whether the data were normally distributed or not (Figure 1, Table 1).

Hypothesis:

H₀: Data are normally distributed.

H₁: Data are not normally distributed.

Comment:

As H₀ is accepted, H₁ is rejected and P > α, data are normally distributed at the significance level of α=0.05. T-test is performed for statistically matched data as data are normally distributed and n<30.

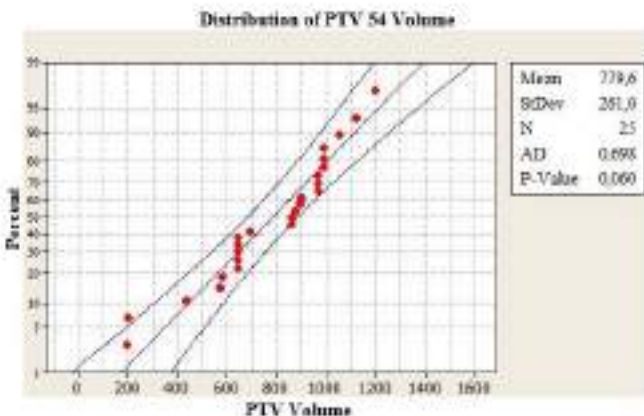


Figure 1: Distribution and analysis results of PTV 54 volume.

Hypothesis:

H₀: There is no significant dose-dependent difference in volume at the PTV 54 region.

H₁: A significant dose-dependent decrease was determined in volume at the PTV 54 region.

Table 1: Analysis results of PTV 54 volume.

	N	Volume Decrease (cc)		P
		When Adaptive Plan is not performed (cc)	After performing Adaptive Plan (cc)	
PTV 54 Volume	25	759,8 ± 285,9	432,4 ± 126,0	0,035

Comment:

As H₀ is rejected, H₁ is accepted and P < α, a significant decrease was determined at the subjected doses at the significance level of α=0.05.

Statistical Analysis Results of PTV 60 Volume:

Anderson-Darling test was performed (Figure 2, Table 2).

Hypothesis:

H₀: Data are normally distributed.

H₁: Data are not normally distributed.

Comment:

As H₀ is accepted, H₁ is rejected and P > α, data are normally distributed at the significance level of α=0.05. T-test is performed for statistically matched data as data are normally distributed and n<30.

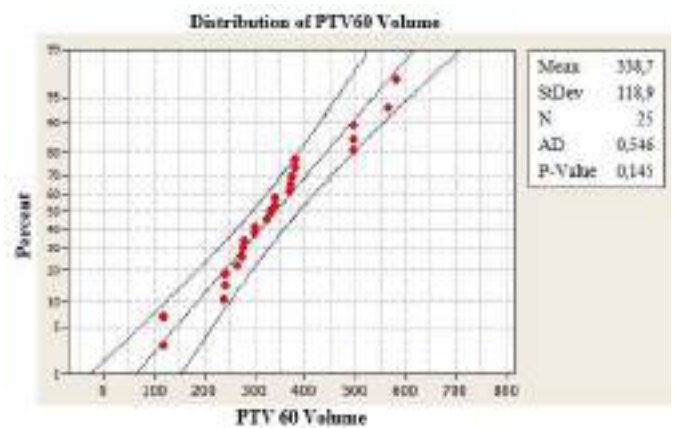


Figure 2: Distribution and analysis results of PTV 60 volume.

Hypothesis:

H₀: There is no significant dose-dependent difference in volume at the PTV 60 region.

H₁: A significant dose-dependent decrease was determined in volume at the PTV 60 region.

Table 2: Analysis Results of PTV 60 Volume.

	N	Volume (cc)		P
		Dose received (cc)	Adaptive CT (cc)	
PTV 60 Volume	25	338,7 ± 118,9	185,5 ± 58,5	0,003

Comment:

As H₀ is rejected, H₁ is accepted and P < α, a significant decrease was determined at the subjected doses at the significance level of α=0.05 (Figure 3, Table 3).

Statistical Analysis Results of Ipsilateral Parotid Volume:

Anderson-Darling test was performed in order to test whether the data were normally distributed or not.

Hypothesis:

H₀: Data are normally distributed.

H₁: Data are not normally distributed.

Comment:

As H_0 is rejected, H_1 is accepted and $P < \alpha$, data are not normally distributed at the significance level of $\alpha=0.05$. Wilcoxon signed rank test is performed as data are not normally distributed.

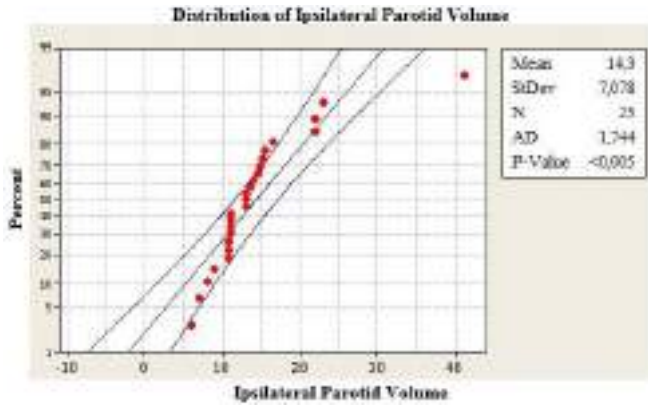


Figure 3: Distribution and analysis results of ipsilateral parotid volume.

Hypothesis:

H_0 : There is no significant dose-dependent difference in volume at the ipsilateral parotid volume region.

H_1 : A significant dose-dependent decrease was determined in volume at the ipsilateral parotid volume region.

Table 3: Analysis Results of Ipsilateral Parotid Volume.

		N	Mean of lines	Total of lines
Ipsilateral Parotid Volume	Negative lines	25*	13,00	325,00
	Positive lines	0*	,00	,00
	Equal	0*		
	Total	25		
Test statistics				
			IPV	
	Z		-4,382*	
	P Value		,046	

Comment:

As H_0 is rejected, H_1 is accepted and $P < \alpha$, a significant decrease was determined at the subjected doses at the significance level of $\alpha=0.05$.

Statistical Analysis Results of Contralateral Parotid Volume:

Anderson-Darling test was performed in order to test whether the data presented in Figure 4 and Table 4 were normally distributed or not.

Hypothesis:

H_0 : Data are normally distributed.

H_1 : Data are not normally distributed.

Comment:

As H_0 is rejected, H_1 is accepted and $P < \alpha$, data are not normally distributed at the significance level of $\alpha=0.05$. Wilcoxon signed rank test is performed as data are not normally distributed.

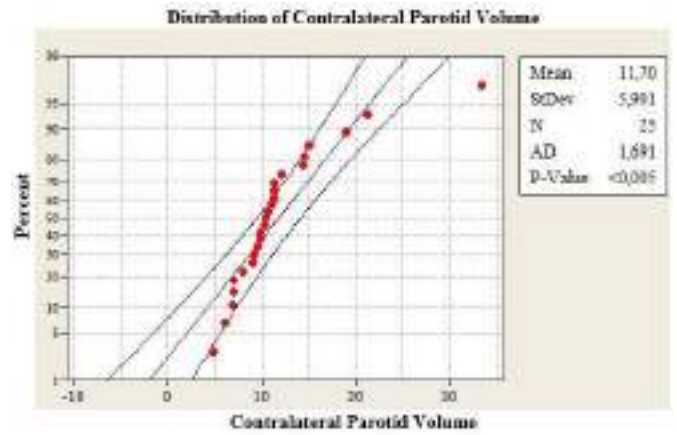


Figure 4: Distribution and analysis results of Contralateral Parotid Volume.

Hypothesis:

H_0 : There is no significant dose-dependent difference in volume at the contralateral parotid volume region.

H_1 : A significant dose-dependent decrease was determined in volume at the contralateral parotid volume region.

Table 4: Analysis Results of Contralateral Parotid Volume.

		N	Mean of lines	Total of lines
Contralateral Parotid Volume	Negative lines	24*	13,48	323,50
	Positive lines	1*	1,50	1,50
	Equal	0*		
	Total	25		
Test Statistics				
			CPV	
	Z		-4,334*	
	P Value		,022	

Comment:

As H_0 is rejected, H_1 is accepted and $P < \alpha$, a significant decrease was determined at the subjected doses at the significance level of $\alpha=0.05$.

Statistical Analysis Results of Total Body Volume:

Anderson-Darling test was performed in order to test whether the data presented in Figure 5, Table 5 and Table 6 were normally distributed or not.

Hypothesis:

H_0 : Data are normally distributed.

H_1 : Data are not normally distributed.

Comment:

As H_0 is rejected, H_1 is accepted and $P < \alpha$, data are not normally distributed at the significance level of $\alpha=0.05$. As it provides the conditions of normal distribution parameters, Wilcoxon signed rank test (a non-parametric test to determine whether two related samples that are selected from the population show distribution or not is performed (Wilcoxon, 1945).

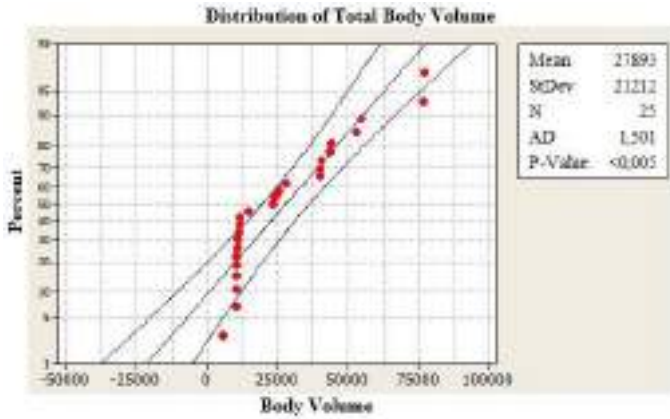


Figure 5: Distribution and analysis results of total body volume.

Hypothesis:

H_0 : There is no significant dose-dependent difference in volume at the total body volume region.

H_1 : A significant dose-dependent decrease was determined in volume at the total body volume region.

Table 5: Analysis Results of Total Body Volume.

		Rows Total		
Total body volume				284,00
				41,00
		Total body volume		
Z				-3,269 ^a
P Value				,001
		N	Mean of lines	Total of lines
Total body volume	Negative lines	23 ^a	12,55	284,0
	Positive lines	2 ^b	20,50	0
	Equal	0 ^c		
	Total	25		41,00
Test statistics				
		Total body volume		
Z				-3,269 ^a
P Value				,001

Comment:

As H_0 is rejected, H_1 is accepted and $P < \alpha$, a significant decrease was determined at the subjected doses at the significance level of $\alpha=0.05$.

Table 6: The variation between first CT plan and adaptive CT in terms of tumor, total volume and parotid volume.

	1 st CT plan (cc)	Adaptive CT plan (cc)	P value
PTV 54	759.8 ± 285.9	412.4 ± 126.6	0.035
PTV 44	338.7 ± 118.9	185.5 ± 51.5	0.003
Ipsilateral parotid	15.00 ± 4.37	10.10 ± 3.85	0.046
Contralateral parotid	12.21 ± 7.34	7.50 ± 3.55	0.022
Total body volume	0.380 ± 1.000	5.290 ± 1.370	0.001

4. Conclusions and Recommendations

Tumor volume of the patient has been changed due to weight loss during the treatment. This condition is unavoidable especially in head and neck tumors; thereof, normal tissues expose to more radiation owing to these variations and tumor volume receives lesser dose.

It is possible to enable more conformal therapies by image-guided radiotherapy (IGRT) and thus increase the efficacy of the treatment and reduce the possible side effects. Advanced radiotherapy techniques, such as IGRT, reduce PTV margins and target tissue, and enables to give higher tumor doses (Hansen et al. 2006). Set up errors and variations related to organ movement can be improved by IGRT.

In conditions of “advanced conformal radiotherapy” approaches, anatomical variations throughout fractional radiotherapy might have significant dosimetric effects, such as intensity modulated radiotherapy (IMRT). Therefore, a pilot study was performed to find an answer to this question by using common imaging method during RT implementation. Recently, in-room CT imaging systems and integrated CT accelerating systems are broadly reached, position and anatomical views of the patient are easily displayed while patient is at therapy position. In the present study, it was focused to detect geometrical and volumetric variations as quantity (Barker et al. 2004). In addition, the medial migration of parotid glands reveals a significant correlation with weight loss during the treatment. This statistically significant weight loss is the indicator of huge amount of medial parotid shift.

During the revision of treatment plan, CT scanning becomes a necessity to reveal the quantity of this shift. In that case, the level of radiation exposure to the medial parotid shift might be increased according to the initial treatment plan (Barker et al. 2004).

Lee et al. found the day-to-day variations in the center-of-mass distance and volume as 1.61 mm and 4.36% by using megavoltage CT, respectively. In the present study, the mean migration distance of both parotidis from the center was detected as 4.3 mm during the treatment (Lee et al. 2008). The mass reduction was approximately 1.8%/d for both primary tumors and relevant nodes. This value is also close to the previously defined ratio. The ratio of parotid was reduced in the ratio of about 0.6%/d. These anatomical variations were resulted in significant volume and COM positional variations during the radiotherapy.

These kinds of geometrical variations in the contour and location of the tumor might be ended up with the most appropriate treatment, such as IMRT, especially when high-level conformal therapies are used (Barker et al. 2004).

Barker et al. investigated 14 head and neck cancer patients having at least 4 cm primary and/or cervical nodule disease and they found that the rate of reduction of GTV was 0.2 cm³ between the treatments and 1.8% daily, and thus this reduction meant that 69.5% of the initial GTV was the medial total relative loss at the end of the treatment. This ratio is related to high rate of weight loss and medial shift in the center of parotid mass in the patient. Medial shift in the center of the tumor should also be noted. The loss of GTV is mostly asymmetric and the distance of medial shift of the mass center is 3.3 mm at the end of the treatment. Day-to-day reduction in the parotid volume and the loss of median volume at the end of the treatment are 0.19 cm³ and 28.1%, respectively. In general, medial shift is 3.1 mm at the end of the treatment. Medial shift is significantly related to weight loss during the treatment. Dosimetric aspects of the anatomical deformations were also handled for the re-planning of the selected patients in the middle of the chemotherapy (Barker et al. 2004).

In previous studies, significant variations were recorded in dosimetric parameters including GTV, CTV, PTV, parotid gland and medulla spinalis. A significant relationship was detected between dosimetric variations and weight loss, number of fractions, skull and positional variations submaxilla cervical vertebra.

Therefore, it is adequate to observe anatomical variations, but also it is necessary to investigate positional variations that might arise during IMRT treatment in head and neck cancers (Hansen et al. 2006).

In the present study, a statistically significant reduction was observed in the volumes of PTV 54 and PTV 60, from 759.8 ± 285.9 cc to 432.4 ± 126 cc and from 338.7 ± 118.9 cc to 185.5 ± 58.5 cc, respectively, when adaptive plan was performed. Weight loss or reduction in tumor size resulted in expansion of the mask in patients receiving IMRT treatment, and it was recommended to repeat CT scan procedure by using a new mask (Ahn et al. 2011).

In addition to the careful observation of clinical and anatomical parameters, weight loss and variations in skin contour, CT-based image-guided radiation therapy (IGRT) should be used more commonly to evaluate anatomical and positional variations of these patients (Ahn et al. 2011). The size, location and surrounding critical organs of the tumor undergo variations at the end of week-long treatment. ART is aimed to correct the morphological variations tissue in patients, such as post-treatment tumor and variations in healthy tissues. It uses CBCT system to reveal the position and size of the tumor at the time of treatment (David et al. 2011).

Adaptive radiotherapy brings a new dimension to the treatment plans of the patients, and it presents certain potential solutions against position-and anatomy related problems. This study discussed potential solutions to minimize the difference between received dose during the treatment and planned dose by the patients receiving head and neck malignity treatment.

While IMRT provides the maximum coverage of the tumor, it preserves OARs and thus causes potential increase in therapeutic index. In current IMRT implementations, treatments are planned with pre-treatment CT scan images. By means of this approach, potential variations in the anatomy and localization of the patient are not taken into consideration for a treatment period of 5 to 7 weeks. These variations might be related to the reduction of tumor and nodule size, weight loss, variations in muscle mass and fat or migration of body fluid. These kinds of modifications

might cause significant alterations in terms of the localization, shape and size of tumor and critical organs (David et al. 2011).

In the present study, CBCT was used in order to monitor and follow the variations in the tumor size and accuracy of the setup. It is important to note the significant variations in PTV and skin contour. When the pre-treatment images in planning CTs were compared to planning CT and CBCT images obtained in the middle of the treatment, a significant difference was detected in target tumor volume. This finding showed correlation with the findings of Barker et al. and Hansen et al. This study showed that CBCT was a highly effective tool for the identification of variation in tumor size (Barker et al. 2004).

Patients with head and neck cancer suffer from important anatomical variations according to the treatment response of the tumor or weight loss during the treatment. The findings of certain studies showed that the volume of parotid salivary gland was reduced and mean translocation was observed in its mass.

Pilot studies defining the clinical results in accordance to adaptation of applied doses and especially the dose variations delivered to target tissue and organs at risk direct to novel studies in adaptive radiation therapy (ART) during the treatment in patients treated with adaptive period. None of the previous studies tried to measure the potential effects of dosimetric variations between planned and real organ doses on the clinical findings.

Castadot et al. stated a significant reduction between mean cumulative parotid dose obtained from initial treatment plans and mean parotid volume obtained as a result of re-planning the treatment in patient with high GTV and patient who experienced significant reduction in the tumor size, and they concluded that these patients could benefit from adaptive radiotherapy. In the present study, mean parotid dose showed a significant reduction when performing adaptive plan.

Barker et al. found that neck tumor was reduced to 69.5% in patients with nodular disease over 4 cm. This ratio is related to weight loss and medial shift at the center of parotid mass which is also noted separately. They also investigated the dosimetric aspects of the anatomical deformations in the examination of patients who were selected for re-planning in the middle of the chemotherapy (Barker et al. 2004).

In the present study, a significant reduction was detected in target and parotid volume when ART was performed, and a significant decline was observed in the mean dose of both parotidis, which enabled a significant increase in swallowing and quality of life by preserving salivary glands.

Image guided controls revealed that 80% of the patients showed complete or almost complete regression at the 3rd and 6th months. Re-planning was recommended as reduction was observed in the tumor volume due to weight loss between the fractions of 21 to 25 or the response of tumor to the radiotherapy.

5. Acknowledge

Approval for the study was obtained from the Ethics Evaluation Committee of Sisli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital

References

Ahn, P. H., Daniel, O., Chen, C.C., Ahn, A. I., Hong, L., Sripes, P.G., Shen, J., Lee, C.C, Miller, E. Kalnicki, S. and Garg, M.

- K. (2011). Adaptive planning in intensitymodulated radiation therapy for head and neck cancers: single-institution experience and clinical implications. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 677-685.
- Barker, J. L., Jr, Garden, A. S. and Ang, K.K. (2004). Quantification of volumetric and geometric changes occurring during fractionated radiotherapy for head-and neck cancer using an integrated CT/linear accelator system. *Int. J. Radiat. Oncol. Bio. Phys.*, 960- 970.
- Beyzadeoğlu, M., Özyiğit, G. ve Ebruli, C. (2010). Basic radiation oncology, 30, 148, 155-169, 209-222.
- David, L. S., Adam, S., Garden, J. T., Yipei Chen, B. S., Yongbin Z., Jan L. and Mark, S. (2011). Adaptive radiotherapy for head-and-neck cancer: initial clinical outcomes from a prospective trial”, *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, 83 (3), 986-993.
- Engin, K. ve Erişen L. (2003) Baş-boyun kanserleri, İstanbul: Nobel Tıp Kitapevi, 920-934.
- Gemici, C., Mayadağlı, A. ve Parlak, C. (2004) Radyasyon onkolojisi tedavi kararları, İstanbul: Nobel Tıp Kitapevi, 706-803.
- Hansen, E. K., Bucci, M. K., and Quivey, J. M. (2006). Repeat ct imaging and replanningduring the course of imrt for head and neck cancer”, *Int. J. Radiat. Oncol. Bio. Phys.*, 64, 355-362.
- James, D. C. and Kian, A. (2010). Radiation oncology: rationale, technique, results, 161.
- Jiade, J. L., Jay, S. C. and Anne W. M. L. (2010). Nasopharyngeal cancer, multidisciplinary management, 6.
- Lee, C., Langen, K. M., Lu, W. (2008). Hainerl, J., Schnarr, E. and Ruchala, K. J.,“Evaluation of geometric changes of parotid glands during head neck cancer radiotherapy using daily MVCT and automatic deformable registration”, *Radiother. Oncol.*, 89 (1), 8-81.
- Maccomb, W. S. and Fletcher, G. H. (1967). Cancer of the head and neck, Baltimore: Williamsand Wilkins, 179-212.
- Sangineti, G., Geara, F. B., and Garden, A. S. (1997). Carcinoma of the nasopharynx treated by radioteherapy alone: determinants of local and regional control. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 37, 985-996.
- Topuz, E., Aydiner, A. ve Karadeniz A. N. (2006). Baş-boyun ve tiroit kanserleri, Klinik Onkoloji, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü Yayınları, 161-162.
- Wilcoxon, F. (1945). İndividual comprarisons by ranking methods” *Biometrics Bulletin*, 1(6), 83-80.



Bioinformatics and 3D homology modelling of *AsAlaDH* from *Amycolatopsis sulphurea*

Fatih Aktaş^{1*}

^{1*} Düzce University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Düzce, Turkey (ORCID: 0000-0002-2031-298X), fatihaktas@duzce.edu.tr

(First received 14 June 2021 and in final form 30 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.971416)

ATIF/REFERENCE: Aktaş, F. (2021). Bioinformatics and 3D homology modelling of *AsAlaDH* from *Amycolatopsis sulphurea*. *European Journal of Science and Technology*, (25), 829-835.

Abstract

Alanine dehydrogenase (AlaDH) (E.C.1.4.1.1) is an enzyme that catalyzes the interconversion of pyruvate and alanine. This enzyme has the key catalytic role for the sporulation of microorganisms and synthesis of the many amino acids, proteins, and peptidoglycan layers in the microorganisms. *Amycolatopsis sulphurea* one of the strains of *Amycolatopsis* genus within the family Pseudonocardiaceae has capable to produce different antibiotics such as Ristocetin, Vancomycin, and Epoxyquinomicin as well as to biodegrade the bioplastic (poly-lactic acid (PLA) films). The 3D homology model of Alanine dehydrogenase from *Amycolatopsis sulphurea* was carried out through I-TASSER. The interaction of L-alanine and active site amino acids of the enzyme was determined by docking in silico via AutoDock Vina program. Protein secondary structures were predicted with EMBOSS tool garnier. Structural and functional analysis and determination of Physico-chemical properties of *AsAlaDH* were performed by using different bioinformatics tools. The secondary structure and multiple alignment analysis of alanine dehydrogenase displayed that there are conserved amino acid residues of AlaDH's from different microorganisms.

Keywords: Alanine dehydrogenase, *Amycolatopsis sulphurea*, 3D homology modelling, Biocatalyst

Amycolatopsis sulphurea'dan Elde Edilen *AsAlaDH*'ın 3D Modellemesi ve Biyoinformatiği

Öz

Alanin dehidrogenaz (AlaDH) (E.C.1.4.1.1), piruvat ve alaninin birbirine dönüşümünü katalize eden bir enzimdir. Bu enzim, mikroorganizmanın sporlanması ve mikroorganizmalardaki birçok amino asit, protein ve peptidoglikan tabakasının sentezi için anahtar katalitik role sahiptir. *Amycolatopsis sulphurea*, Pseudonocardiaceae familyası içindeki *Amycolatopsis* cinsinin suşlarından biri olup, Ristosetin, Vankomisin ve Epoksiquinomisin gibi farklı antibiyotikler üretmenin yanı sıra biyoplastik (poli-laktik asit (PLA) filmlerini biyolojik olarak parçalama yeteneğine sahiptir). *Amycolatopsis sulphurea*'dan Alanin dehidrogenazın 3D homoloji modeli I-TASSER aracılığıyla gerçekleştirildi. L-alanin ile enzimin aktif bölge amino asitlerinin etkileşimi, AutoDock Vina programı ile in silico kenetlenerek belirlendi. Protein ikincil yapıları EMBOSS tool garnier ile tahmin edildi. *AsAlaDH*'nin yapısal ve fonksiyonel analizleri ve fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesi farklı biyoinformatik araçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alanin dehidrogenazın ikincil yapısı ve çoklu hizalama analizi, AlaDH'lerin farklı mikroorganizmalardan korunmuş amino asit kalıntıları olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alanine dehidrogenaz, *Amycolatopsis sulphurea*, 3D homoloji modelleme, biyokatalist*

* Corresponding Author: fatihaktas@duzce.edu.tr

1. Introduction

Amycolatopsis sulphurea is a bacterium belongs to the *Amycolatopsis* genus that one of the well-defined taxa in the *Pseudonocardiaceae* family and *Actinobacteria* phylum (Lee, 2009). This bacterium was named by Lechevalier et al. (LECHEVALIER, PRAUSER, LABEDA, & RUAN, 1986) and has yellowish-green aerial hyphae, lysozyme resistant, and the G+C content of the type-strain genome is 69.4% (Nouioui et al., 2018). The species of this genus was defined well up to now and many novel species have been described from different sources such as freshwater, soil, and underground sites (Saintpierre-Bonaccio, Amir, Pineau, Tan, & Goodfellow, 2005; Tan, Ward, & Goodfellow, 2006). Chelocardin, one of the important antibiotics, is produced by *Amycolatopsis sulphurea*. It has antibacterial activity against both Gram-negative, Gram-positive bacteria, and most multi-resistant pathogens (Lukežič et al., 2013).

Alanine dehydrogenase (AlaDH, EC 1.4.1.1) catalyzes the reversible oxidative deamination of L-alanine to pyruvate reaction and it has been using for different applications in food, pharma, and biotechnological industries. This enzyme's systematic name is L-alanine: NAD⁺ oxidoreductase (deaminating), and also has common names as L-alanine dehydrogenase (L-AlaDH), NADH-dependent alanine dehydrogenase, NAD⁺-linked alanine dehydrogenase, and NAD⁺-dependent alanine dehydrogenase. It belongs to the group of oxidoreductases and its forward reaction is oxidative deamination of alanine to pyruvate and its reverse reaction is reductive amination of pyruvate to alanine (Dave & Kadeppagari, 2019; Yoshida & Freese, 1965).

The principal role of AlaDHs in microorganisms has been catalyzing the oxidation of organic molecules such as pyruvate that substantial energy molecule essential for the growth of organisms (Voet, Voet, & Pratt, 2016). It also provides a linkage between amino acid and carbohydrate metabolisms in different microorganisms as key factors in carbon and nitrogen metabolism (McCowen & Phibbs, 1974). The kinetic properties and reaction mechanism of this enzyme have been studied in microorganisms (mostly in *Bacillus* species, bacteroid, heterocyst, mycelium, and hypha.) (Allaway et al., 2000; Gräfe, Bocker, Reinhardt, Tkocz, & Thrum, 1974; Keradjopoulos & Holldorf, 1979; Nitta, Yasuda, Tochikubo, & Hachisuka, 1974; Pernil, Herrero, & Flores, 2010; Porumb et al., 1987; Schultz & Benson, 1990). A crystal structure, catalytic mechanism, and multiple sequence alignment analysis of AlaDHs from various microorganisms showed that four amino acid residues Arg-15, Lys-75 (pyruvate binding residues) (Phogosee, Hibino, Kageyama, & Waditee-Sirisattha, 2018), His-96, and Asp-269 (or 270) (putative acid-base catalysts) highly conserved are potential residues of AlaDH involved in the catalytic activity (Jeong, Baek, Kim, Choi, & Oh, 2013). The studies on AlaDH active site showed that His96 is used for changing protein conformation, and Asp270 provides the stability of the ribose of NADH and nicotinamide ring via hydrogen bond interactions (Ling et al., 2014; Ling, Sun, Bi, Jing, & Liu, 2012).

lapideum, PDBID: 1PJB; *Tt: Thermus thermophilus*, PDBID: 2EEZ) (Sievers et al., 2011). Protein secondary structures were predicted with EMBOSS tool *garnier* and the figure was created

A tremendous quantity of DNA sequence data and their databases has been growing exponentially in the last decades. The field of bioinformatics studies has increased to analyze huge data containing lots of genomes from both prokaryotes and eukaryotes. The bioinformatics tools have been developed quickly to determine genes of functional proteins and RNA (Rehm & Reinecke, 2005). The undetermined pathways of numerous unknown useful pharmaceutical and agricultural products of plenty of prokaryotic and eukaryotic organisms have been revealed by using Bioinformatics tools throughout predicted studies of them (McClerren et al., 2006; Naveed, Ahmed, Khalid, & Mumtaz, 2014). Although prediction of Protein 3D-structure folding by using a simple sequence of amino acids had many problems in the past, it has developed rapidly to an applicable online computational resources with amenable in most cases (Haddad, Adam, & Heger, 2020). The presence of bioinformatic tools in internet provides a great opportunity to define the physicochemical properties of enzymes including their primary, secondary and 3D structural properties. The aim of this study was primarily to report the bioinformatics and 3D homology characterization of *AsAlaDH* by used some different tools for the prediction of protein structure and function and active site analysis.

2. Material and Method

2.1. Determination of Physico-Chemical Properties of *AsAlaDH*

Protein sequences were obtained from UniProtKB and 3D structures from the protein data bank (PDB) databases. Different bioinformatics tools were used for calculating the Physico-chemical properties of *AsAlaDH* protein sequence. Molecular weight, isoelectric point, average residue weight, and charge of protein were determined by Emboss Pepstats (Madeira et al., 2019), instability index, atomic composition, and amino acid composition were calculated by ProtParam (Wilkins et al., 1999).

2.2. Structural and Functional Analysis of *AsAlaDH*

The prediction of the secondary structure of *AsAlaDH* protein was carried out by using PSIPred (Buchan & Jones, 2019). Functional sites of *AsAlaDH* protein were defined by InterProScan (Zdobnov & Apweiler, 2001).

2.3. The 3D Homology Model of *AsAlaDH*

The 3D homology model of *Amycolatopsis sulphurea* alanine dehydrogenase was generated through I-TASSER (Yang et al., 2015) using the published structure of *Mycobacterium tuberculosis* L-alanine dehydrogenase (*Mt*, PDBID: 2VHX) (Agren et al., 2008) as a template. L-alanine substrate was docked into *AsAlaDH* active site pocket *in silico* via AutoDock Vina (Trott & Olson, 2010). Figures were carried out by PyMOL (Molecular Graphics System, Version 2.0 Schrodinger, LLC). Amino acid sequences of characterized AlaDHs from PDB were aligned with Clustal Omega and the figure was created with Geneious software. (*As: Amycolatopsis sulphurea*; *Mt: Mycobacterium tuberculosis*, PDBID: 2VHX; *Pl: Phormidium* with Geneious software. (*As: Amycolatopsis sulphurea*; *Mt: Mycobacterium tuberculosis*, PDBID: 2VHX; *Pl: Phormidium lapideum*, PDBID: 1PJB; *Tt: Thermus thermophilus*, PDBID:

2EEZ) (Sievers et al., 2011). Protein secondary structures were predicted with EMBOSS tool *garnier* and the figure was created with Geneious software (Garnier, Osguthorpe, & Robson, 1978; Rice, Longden, & Bleasby, 2000).

Table 1. Amino acid and atomic composition of *AsAlaDH* determined by ProtParam

Amino acid composition		
Ala (A)	49	13.2%
Arg (R)	21	5.7%
Asn (N)	10	2.7%
Asp (D)	21	5.7%
Cys (C)	2	0.5%
Gln (Q)	7	1.9%
Glu (E)	20	5.4%
Gly (G)	35	9.4%
His (H)	12	3.2%
Ile (I)	13	3.5%
Leu (L)	41	11.1%
Lys (K)	10	2.7%
Met (M)	5	1.3%
Phe (F)	6	1.6%
Pro (P)	24	6.5%
Ser (S)	18	4.9%
Thr (T)	24	6.5%
Trp (W)	2	0.5%
Tyr (Y)	9	2.4%
Val (V)	42	11.3%
Pyl (O)	0	0.0%
Sec (U)	0	0.0%
Atomic composition		
Carbon	C	1726
Hydrogen	H	2777
Nitrogen	N	487
Oxygen	O	522
Sulfur	S	7

3. Results and discussion

3.1. Identification and Physico-chemical Properties of *AsAlaDH*

AsAlaDH molecular weight calculated as 38927.4 g, with the average residual weight of 104.9 g, the isoelectric point of 5.9, and the net charge of - 4.0 by used Emboss Pepstats tool. This protein composed of 371 amino acids with 41 (Asp + Glu) negative charge residues and 31 (Arg + Lys) positive charge residues, besides higher contents of alanine, leucine and valine were showed by the ProtParam tool. The molecular formula of *AsAlaDH* protein was observed as (C₁₇₂₆H₂₇₇₇N₄₈₇O₅₂₂S₇) that has also 5519 atoms by using the same tool. Amino acid and atomic composition of *AsAlaDH* were shown in Table 1.

It was estimated to be *AsAlaDH* has six subunits that have 371 residues in each one has a 40 kDa as considered in many members of the enzyme family in literature (Tripathi & Ramachandran, 2008). There are a total of 16 α -helices and 16 β -strands in each subunit as shown in figure 1.

3.2. Structural analysis and Functional domain prediction of *AsAlaDH*

PSIPRED server was used to define the secondary structure of *AsAlaDH*. The results represented that *AsAlaDH* primarily arranged of beta-strands, alfa-helix, and coils (Figure 1). There are a total of 16 α -helices and 16 β -strands in each subunit as shown in figure 1.

InterProScan was showed that it has two Alanine dehydrogenase/pyridine nucleotide transhydrogenase (PNT), N-terminal domain sites (in between 4-137 as N-terminal domain, and 141-352 residues as NAD(H)-binding domain) and represented good functional homology with NAD(P)-binding domain superfamily (137-303 residues). It was indicated that it has L-alanine metabolic process (GO:0042853) and alanine dehydrogenase activity (GO:0000286).

3.3. The 3D homology model of *AsAlaDH*

The 3D homology model of *AsAlaDH* was created through I-TASSER using *Mycobacterium tuberculosis* L-alanine dehydrogenase (*Mt*, PDBID: 2VHX) as a template with 63.34% identity. Despite *AsAlaDH* and *MtAlaDH* 61% sequence similarity, both enzymes have conserved substrate-binding pocket and active side residues. (Figure 2).

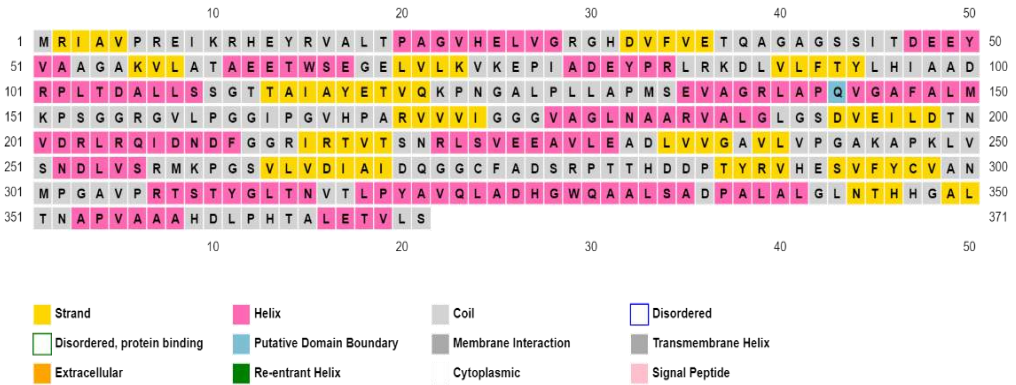
Active site comparison of *AsAlaDH* (gray) and *MAAlaD* (blue), displaying pretty identical active site construction and similar amino acid residues near the L-alanine substrate. The substrate L-alanine was bound in the active site of *AsAlaDH* through H-bonds with Arg15 (NH1-2.9 Å and NH2-3.3 Å), Lys75 (NZ-2.8 Å), Tyr94 (CZ-2.7 Å and CD2-3.5 Å), His96 (NE2-2.7 and 2.9 Å) and Asn300 (ND2-3.2 Å) in the *AsAlaDH* structure (Figure 3).

4. Conclusions and Recommendations

In our study, we have determined Physico-chemical properties, structural and functional analysis, and the 3D homology model of *AsAlaDH* using some bioinformatics databases and tools. Our data showed that *AsAlaDH* has similar catalytic sites and amino acid distributions have few changes. This suggests that *AsAlaDH* belongs to the NAD⁺/NADH-dependent alanine dehydrogenase group involved in recognition and binding substrate site and catalytic site.

The active site comparison and functional domain prediction of *AsAlaDH* studies presented here provide this enzyme as a good candidate for obtaining fine chemicals and amino acids for the prodrug and chemical industry. Our findings prove that the structural and functional regions of this enzyme, which we have experimentally recent studied (Aktaş, 2021), belong to the L-amino acid dehydrogenase group.

a



b

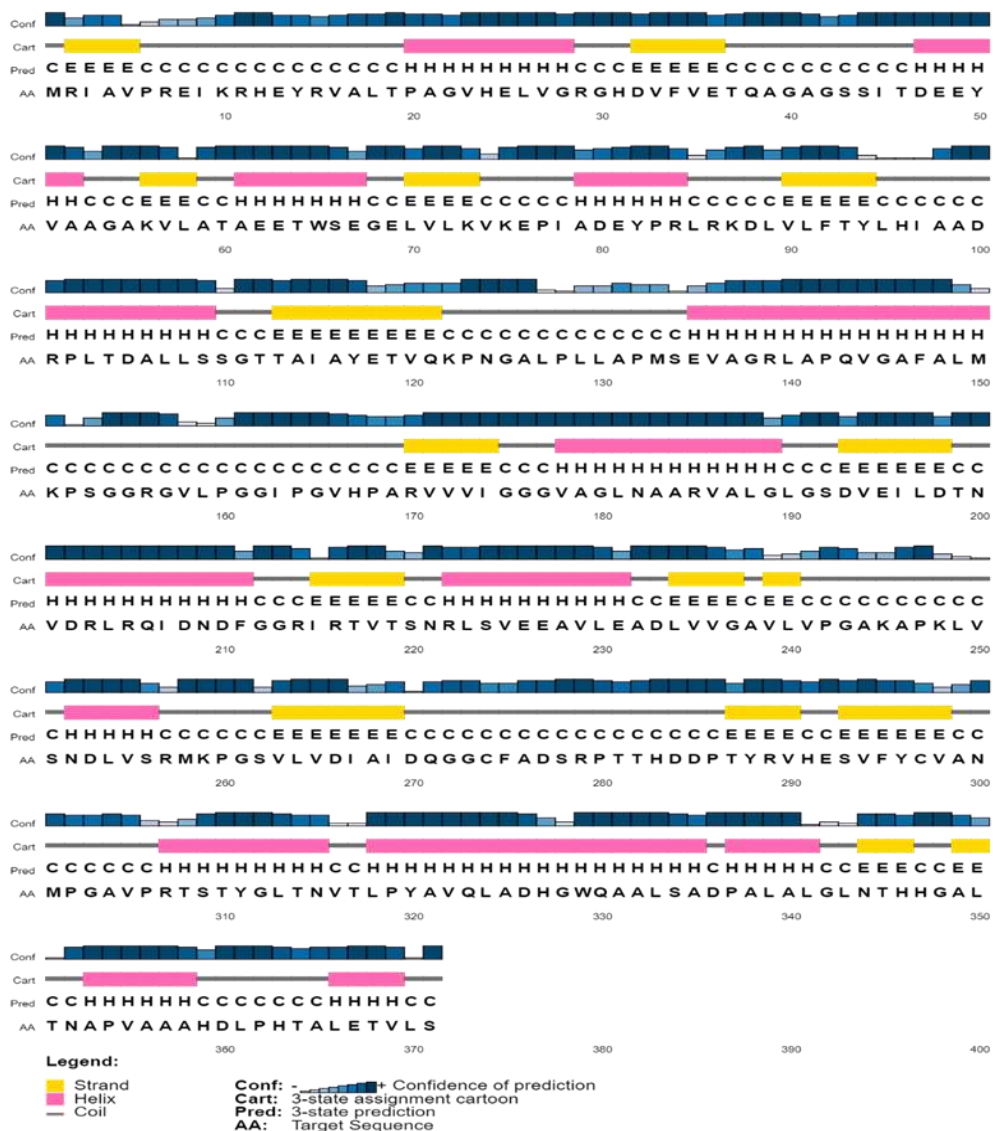


Figure 1. The prediction of the secondary structure (α -helix, β -strand, and coil structures) of AsAlaDH protein was carried out by using PSIPred. A: Amino acid residues in each secondary structure (β -strand (yellow), α - helix (pink), coil (grey)) B: 3-state assignment cartoon exhibition (β -strand (yellow), α - helix (pink), coil (grey)).



Figure 2. Multiple amino acid sequence alignments of AlaDHs. Percentages indicates the sequence identity between *AsAlaDH* and isozyyme AlaDHs (*As*: *Amycolatopsis sulphurea*; *Mt*: *Mycobacterium tuberculosis*; *Pt*: *Phormidium lapideum*; *Tt*: *Thermus thermophilus*). The residues constructing the active site pocket are indicated in red rectangles

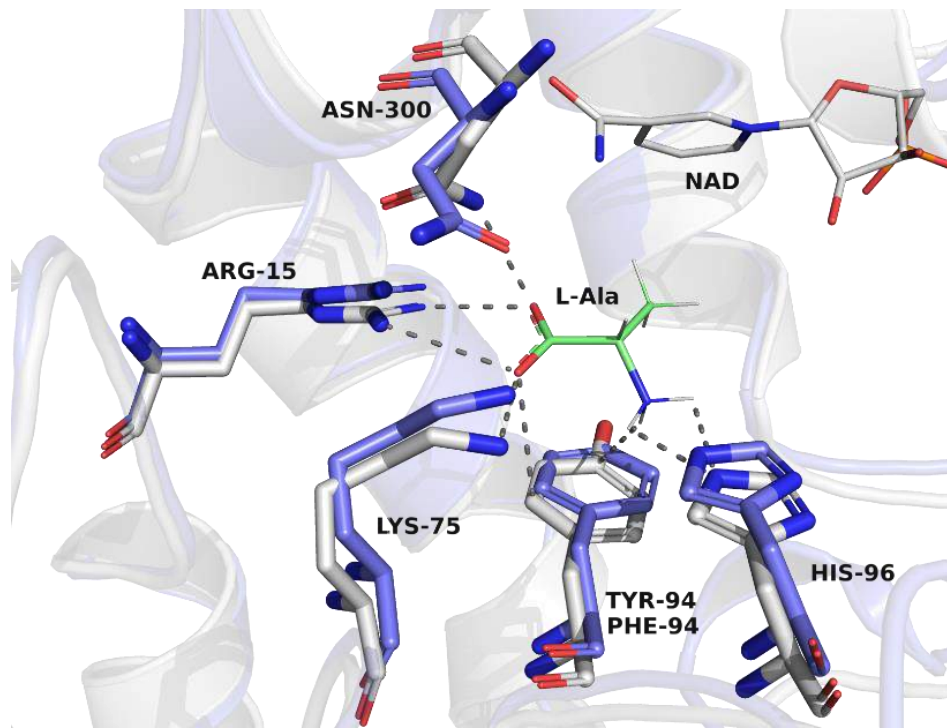


Figure 3. Homology model of *AsAlaDH* superimposed with the structure of *MtAlaDH* (PDB ID: 2VHX). NAD⁺ cofactor, active site and homology models of *AsAlaDH* and *MtAlaDH* enzymes, docked L-alanine substrate shown in gray, blue, green, respectively.

All these results with, active site mutation studies and protein engineering techniques will enable the *AsAlaDH* enzyme to be used as a stable and efficient enzyme in biotechnological applications.

In this study, we have considered only in silico studies for *AsAlaDH* to discover enzyme structure-function environment and relationship. In future research, more biochemical and enzymatic characterization can be studied to be able to improve enzyme catalytic efficiency and substrate specificity.

References

- Agren, D., Stehr, M., Berthold, C. L., Kapoor, S., Oehlmann, W., Singh, M., & Schneider, G. (2008). Three-dimensional structures of apo- and holo-L-alanine dehydrogenase from *Mycobacterium tuberculosis* reveal conformational changes upon coenzyme binding. *J Mol Biol*, 377(4), 1161-1173. doi:10.1016/j.jmb.2008.01.091
- Aktaş, F. (2021). Heterologous Expression and Partial Characterization of a New Alanine Dehydrogenase from *Amycolatopsis sulphurea*. *The Protein Journal*, 40(3), 342-347. doi:10.1007/s10930-021-09982-9
- Allaway, D., Lodwig, E. M., Crompton, L. A., Wood, M., Parsons, R., Wheeler, T. R., & Poole, P. S. (2000).

- Identification of alanine dehydrogenase and its role in mixed secretion of ammonium and alanine by pea bacteroids. *Mol Microbiol*, 36(2), 508-515. doi:10.1046/j.1365-2958.2000.01884.x
- Buchan, D. W. A., & Jones, D. T. (2019). The PSIPRED Protein Analysis Workbench: 20 years on. *Nucleic acids research*, 47(W1), W402-W407. doi:10.1093/nar/gkz297 %J *Nucleic Acids Research*
- Dave, U. C., & Kadeppagari, R.-K. (2019). Alanine dehydrogenase and its applications – A review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 39(5), 648-664. doi:10.1080/07388551.2019.1594153
- Garnier, J., Osguthorpe, D. J., & Robson, B. (1978). Analysis of the accuracy and implications of simple methods for predicting the secondary structure of globular proteins. *J Mol Biol*, 120(1), 97-120. doi:https://doi.org/10.1016/0022-2836(78)90297-8
- Gräfe, U., Bocker, H., Reinhardt, G., Tkocz, H., & Thrum, H. (1974). [Activity of alanine dehydrogenase and production of antibiotic in cultures of *Streptomyces hygrosopicus* JA 6599 (author's transl)]. *Z Allg Mikrobiol*, 14(3), 181-192. doi:10.1002/jobm.3630140302
- Haddad, Y., Adam, V., & Heger, Z. (2020). Ten quick tips for homology modeling of high-resolution protein 3D structures. *PLOS Computational Biology*, 16(4), e1007449. doi:10.1371/journal.pcbi.1007449
- Jeong, J.-A., Baek, E.-Y., Kim, S. W., Choi, J.-S., & Oh, J.-I. (2013). Regulation of the *ald* Gene Encoding Alanine Dehydrogenase by AldR in *Mycobacterium smegmatis*. *Journal of Bacteriology*, 195(16), 3610-3620. doi:10.1128/JB.00482-13 %J *Journal of Bacteriology*
- Keradjopoulos, D., & Holldorf, A. W. (1979). Purification and properties of alanine dehydrogenase from *Halobacterium salinarum*. *Biochimica et biophysica acta*, 570(1), 1-10. doi:10.1016/0005-2744(79)90195-5
- Lechevalier, M. P., Prauser, H., Labeda, D. P., & Ruan, J.-S. (1986). Two New Genera of Nocardioform Actinomycetes: *Amycolata* gen. nov. and *Amycolatopsis* gen. nov. *Journal of Bacteriology*, 36(1), 29-37. doi:https://doi.org/10.1099/00207713-36-1-29
- Lee, S. D. (2009). *Amycolatopsis ultiminotia* sp. nov., isolated from rhizosphere soil, and emended description of the genus *Amycolatopsis*. *Journal of Bacteriology*, 59(6), 1401-1404. doi:https://doi.org/10.1099/ijb.0.006577-0
- Ling, B., Bi, S., Sun, M., Jing, Z., Li, X., & Zhang, R. (2014). Molecular dynamics simulations of mutated *Mycobacterium tuberculosis* L-alanine dehydrogenase to illuminate the role of key residues. *J Mol Graph Model*, 50, 61-70. doi:10.1016/j.jmgm.2014.03.008
- Ling, B., Sun, M., Bi, S., Jing, Z., & Liu, Y. (2012). Molecular dynamics simulations of the coenzyme induced conformational changes of *Mycobacterium tuberculosis* L-alanine dehydrogenase. *J Mol Graph Model*, 35, 1-10. doi:10.1016/j.jmgm.2012.01.005
- Lukežič, T., Lešnik, U., Podgoršek, A., Horvat, J., Polak, T., Šala, M., . . . Petković, H. (2013). Identification of the chelocardin biosynthetic gene cluster from *Amycolatopsis sulphurea*: a platform for producing novel tetracycline antibiotics. *Microbiology (Reading)*, 159(Pt 12), 2524-2532. doi:10.1099/mic.0.070995-0
- Madeira, F., Park, Y. M., Lee, J., Buso, N., Gur, T., Madhusoodanan, N., . . . Lopez, R. (2019). The EMBL-EBI search and sequence analysis tools APIs in 2019. *Nucleic acids research*, 47(W1), W636-W641. doi:10.1093/nar/gkz268
- McClerren, A. L., Cooper, L. E., Quan, C., Thomas, P. M., Kelleher, N. L., & van der Donk, W. A. (2006). Discovery and in vitro biosynthesis of haloduracin, a two-component lantibiotic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(46), 17243-17248. doi:10.1073/pnas.0606088103 %J *Proceedings of the National Academy of Sciences*
- McCowen, S. M., & Phibbs, P. V. (1974). Regulation of Alanine Dehydrogenase in *Bacillus licheniformis*. *Journal of Bacteriology*, 118(2), 590-597.
- Naveed, M., Ahmed, I., Khalid, N., & Mumtaz, A. S. (2014). Bioinformatics based structural characterization of glucose dehydrogenase (gdh) gene and growth promoting activity of *Leclercia* sp. QAU-66. *Brazilian journal of microbiology : [publication of the Brazilian Society for Microbiology]*, 45(2), 603-611. doi:10.1590/s1517-83822014000200031
- Nitta, Y., Yasuda, Y., Tochikubo, K., & Hachisuka, Y. (1974). L-amino acid dehydrogenases in *Bacillus subtilis* spores. *Journal of Bacteriology*, 117(2), 588-592. doi:10.1128/jb.117.2.588-592.1974
- Nouioui, I., Carro, L., García-López, M., Meier-Kolthoff, J. P., Woyke, T., Kyrpides, N. C., . . . Göker, M. (2018). Genome-Based Taxonomic Classification of the Phylum Actinobacteria. *Journal of Bacteriology*, 9(2007). doi:10.3389/fmicb.2018.02007
- Pernil, R., Herrero, A., & Flores, E. (2010). Catabolic Function of Compartmentalized Alanine Dehydrogenase in the Heterocyst-Forming Cyanobacterium *Anabaena* sp. Strain PCC 7120. *Journal of Bacteriology*, 192(19), 5165-5172. doi:10.1128/JB.00603-10 %J *Journal of Bacteriology*
- Phogosee, S., Hibino, T., Kageyama, H., & Waditee-Sirisattha, R. (2018). Bifunctional alanine dehydrogenase from the halotolerant cyanobacterium *Aphanothece halophytica*: characterization and molecular properties. *Arch Microbiol*, 200(5), 719-727. doi:10.1007/s00203-018-1481-7
- Porumb, H., Vancea, D., Mureşan, L., Presecan, E., Lascu, I., Petrescu, I., . . . Bâzu, O. (1987). Structural and catalytic properties of L-alanine dehydrogenase from *Bacillus cereus*. *J Biol Chem*, 262(10), 4610-4615.
- Rehm, B. H. A., & Reinecke, F. (2005). Bioinformatic Tools for Gene and Protein Sequence Analysis. In J. M. Walker & R. Rapley (Eds.), *Medical Biotechnology Handbook* (pp. 387-407). Totowa, NJ: Humana Press.
- Rice, P., Longden, I., & Bleasby, A. (2000). EMBOSS: the European Molecular Biology Open Software Suite. *Trends Genet*, 16(6), 276-277. doi:10.1016/s0168-9525(00)02024-2
- Saintpierre-Bonaccio, D., Amir, H., Pineau, R., Tan, G. Y. A., & Goodfellow, M. (2005). *Amycolatopsis plumensis* sp. nov., a novel bioactive actinomycete isolated from a New-Caledonian brown hypermagnesian ultramafic soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(5), 2057-2061. doi:10.1099/ijb.0.63630-0
- Schultz, N. A., & Benson, D. R. (1990). Enzymes of ammonia assimilation in hyphae and vesicles of *Frankia* sp. strain

- Cp11. J Bacteriol, 172(3), 1380-1384.
doi:10.1128/jb.172.3.1380-1384.1990
- Sievers, F., Wilm, A., Dineen, D., Gibson, T. J., Karplus, K., Li, W., . . . Higgins, D. G. (2011). Fast, scalable generation of high-quality protein multiple sequence alignments using Clustal Omega. *7*(1), 539.
doi:https://doi.org/10.1038/msb.2011.75
- Tan, G. Y. A., Ward, A. C., & Goodfellow, M. (2006). Exploration of Amycolatopsis diversity in soil using genus-specific primers and novel selective media. *Systematic and Applied Microbiology*, *29*(7), 557-569.
doi:https://doi.org/10.1016/j.syapm.2006.01.007
- Tripathi, S. M., & Ramachandran, R. (2008). Crystal structures of the Mycobacterium tuberculosis secretory antigen alanine dehydrogenase (Rv2780) in apo and ternary complex forms captures “open” and “closed” enzyme conformations. *72*(3), 1089-1095.
doi:https://doi.org/10.1002/prot.22101
- Trott, O., & Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of computational chemistry*, *31*(2), 455-461.
doi:10.1002/jcc.21334
- Voet, D., Voet, J. G., & Pratt, C. W. (2016). *Fundamentals of biochemistry life at the molecular level*.
- Wilkins, M. R., Gasteiger, E., Bairoch, A., Sanchez, J. C., Williams, K. L., Appel, R. D., & Hochstrasser, D. F. (1999). Protein identification and analysis tools in the ExPASy server. *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.).
- Yang, J., Yan, R., Roy, A., Xu, D., Poisson, J., & Zhang, Y. (2015). The I-TASSER Suite: protein structure and function prediction. *Nat Methods*, *12*(1), 7-8.
doi:10.1038/nmeth.3213
- Yoshida, A., & Freese, E. (1965). Enzymic properties of alanine dehydrogenase of *Bacillus subtilis*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Nucleic Acids and Protein Synthesis*, *96*(2), 248-262.
doi:https://doi.org/10.1016/0005-2787(65)90588-5
- Zdobnov, E. M., & Apweiler, R. (2001). InterProScan – an integration platform for the signature-recognition methods in InterPro. *Bioinformatics*, *17*(9), 847-848.
doi:10.1093/bioinformatics/17.9.847 %J Bioinformatics